



Tommi Heinonen

## **High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 30.5.2016

Valvoja: Professori Tapio Luttinen

Ohjaajat: DI Åsa Enberg ja DI Aapo Lumikoivu

---

**Tekijä** Tommi Heinonen

---

**Työn nimi** High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan

---

**Koulutusohjelma** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Pääaine** Liikenne- ja tietekniikka

**Koodi** R3004

---

**Työn valvoja** Professori Tapio Luttinen

---

**Työn ohjaajat** DI Åsa Enberg ja DI Aapo Lumikoivu

---

**Päivämäärä** 30.5.2016

**Sivumäärä** 134

**Kieli** Suomi

---

### Tiivistelmä

High Capacity Transport- eli HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan ajoneuvoyhdistelmiä, joiden pituus ja/tai massa ovat tavallista suurempia, mutta joita ei luokitella erikoiskuljetusajoneuvoiksi. Suurempien mittojen ja massojen avulla pyritään alentamaan kuljetusten kustannuksia ja päästöjä. Suomessa ajoneuvoyhdistelmien suurin sallittu kokonaismassa on valtioneuvoston asetuksen 407/2013 mukaisesti 76 tonnia, maksimileveys 2,6 metriä, maksimikorkeus 4,4 metriä ja maksimipituus 25,25 metriä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi voi myöntää määräaikaista poikkeuslupia yli 25,25 metriä pitkällä ja/tai yli 76 tonnia painavilla HCT-ajoneuvoyhdistelmillä liikennöintiin.

HCT-ajoneuvoyhdistelmien soveltuvuutta ja potentiaalia osana suomalaista kuljetusjärjestelmää selvitetään lukuisin tutkimuksin. Tämä diplomityö on osa tutkimusta, jonka tarkoituksena on selvittää, millaisia vaikutuksia HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on liikennevirtaan ja liikenteen sujuvuuteen normaalikokoisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna. Erityisesti tutkitaan ohituksia, jonoutumista sekä eroja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisessä. Työtä varten Inarin ja Rovaniemen välillä liikennöivään, 33 metriä pitkään ja enintään 104-tonnia painavaan puutavara-ajoneuvoyhdistelmään kiinnitettiin kolme videokameraa sekä GPS-paikannin. Vastaava laitteisto kiinnitettiin myös samalla reitillä liikennöivään 25 metriä pitkään ja enintään 76 tonnia painavaan verrokkiyhdistelmään. Kerättyä aineistoa analysoimalla voitiin tutkia eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Ohituskäyttäytymiseen liittyvät erot ajoneuvoyhdistelmien välillä havaittiin pieniksi. HCT-yhdistelmän ohittaminen kesti hieman verrokkiyhdistelmän ohittamista kauemmin. Lisäksi HCT-yhdistelmän ohittajat vaativat hieman pidempiä aikavälejä vastaantulevassa liikenteessä suorittaakseen ohituksen. Ohitusturvallisuudessa ei havaittu merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Jonoutumiseen liittyen havaittiin, että keskimääräinen jononpituus HCT-yhdistelmän takana oli hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän takana. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä oltiin valmiita ajamaan pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen havaittiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeudet olivat hieman verrokkiyhdistelmän nopeuksia alhaisempia. Lisäksi tavallista suurempi ajoneuvoyhdistelmä vaati liittymissä ja kiertoliittymissä verrokkiyhdistelmää enemmän tilaa, mutta mahtui kuitenkin liikennöimään reitin liittymissä ilman merkittäviä ongelmia.

---

**Avainsanat** Raskas liikenne, ajoneuvoyhdistelmät, HCT-ajoneuvot, liikennevirta, liikenteen sujuvuus, ohittaminen, jonoutuminen

---



---

**Author** Tommi Heinonen

---

**Title of thesis** The effect of High Capacity Transport vehicles on the traffic flow

---

**Degree programme** Civil and environmental engineering

---

**Major** Transportation and highway engineering

**Code** R3004

---

**Thesis supervisor** Professor Tapio Luttinen

---

**Thesis advisors** M.Sc. Åsa Enberg and M.Sc. Aapo Lumikoivu

---

**Date** 30.5.2016

**Number of pages** 134

**Language** Finnish

---

### **Abstract**

High Capacity Transport (HCT) vehicle combinations are longer and/or heavier than regular vehicle combinations. However, special transport vehicle combinations are not categorised as HCT vehicles. The purpose of increasing the length and mass of vehicle combinations is to decrease the transportation costs and emissions. According to the current regulations in Finland, the maximum mass of a vehicle combination is 76 tonnes, the maximum width is 2,6 meters, the maximum height is 4,4 meters and the maximum length is 25,25 meters. The Finnish Transport Safety Agency Trafi can give special permits for companies to use HCT vehicles on designated routes.

Several ongoing research projects investigate the feasibility and potential of HCT vehicle combinations in the Finnish transportation system. This master's thesis is a part of a larger research project, which aims to find out how HCT vehicles affect the traffic flow in comparison to normal sized vehicle combinations. The focus of the research project is on overtaking behaviour, platoon formation and the dynamic behaviour of heavy vehicle combinations. The data used in this master's thesis was gathered by attaching three video cameras and a GPS tracker into a 33-meter-long and 104-tonne-heavy HCT vehicle that operates between Inari and Rovaniemi. For comparison, identical instrumentation was also installed into a 25-meter-long and 76-tonne-heavy vehicle combination operating on the same route. Differences between the vehicle combinations were investigated by analysing the gathered material.

When it comes to overtaking behaviour, differences between the vehicle combinations were found to be relatively small. Overtaking the HCT vehicle took a slightly longer time than overtaking the comparison vehicle combination. The overtakers of the HCT vehicle also required slightly longer gaps in the opposing traffic stream in order to overtake. Significant differences in overtaking safety were not observed. Considering platoon formation it was found that the mean queue length behind the HCT vehicle was slightly larger than behind the comparison vehicle combination.

When it comes to the dynamic behaviour of the researched vehicles, it was observed that the mean velocity of the HCT vehicle was lower than that of the comparison vehicle. The HCT vehicle also required more space in roundabouts and intersections than the comparison vehicle combination. However, the HCT vehicle was able to operate on roundabouts and intersections without major problems.

---

**Keywords** Heavy goods vehicles, High Capacity Transport, traffic flow, overtaking, platoon formation

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston liikennetekniikan tutkimusryhmässä. Työ on osa Liikenneviraston Aalto-yliopistolta tilaamaa laajempaa tutkimusta HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksista liikennevirtaan. Liikennevirasto on rahoittanut työn, ja lisäksi työn suorittamista on stipendillä tukenut Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi. Työn valvojana on toiminut professori Tapio Luttinen ja ohjaajina Åsa Enberg ja Aapo Lumikoivu liikennetekniikan tutkimusryhmästä. Liikenneviraston yhteyshenkilöinä tutkimuksessa ovat olleet Kari Lehtonen ja Jorma Saarelainen.

Haluan osoittaa kiitokseni Liikennevirastolle ajankohtaisesta ja mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta. Kiitos myös Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumin Suomen osastolle saamastani stipendistä. Työn valvojaa Tapio Luttista sekä ohjaajiani Åsa Enbergiä ja Aapo Lumikoivua haluan kiittää arvokkaista kommentteista, ohjauksesta ja neuvoista työn aikana. Tutkimuslaitteiston suunnittelusta esitän kiitokseni Harri Vanhalalle. Erityisen suuret kiitokset haluan osoittaa tutkimuslaitteistojen asennuksesta ja ylläpidosta vastanneelle Kari Hintikalle. Ilman hänen osaamistaan ja periksiantamatonta asennettaan työ olisi tuskin koskaan valmistunut.

Tutkimuksen toteutumisen kannalta merkittävässä roolissa ovat olleet tutkimukseen osallistuneet kuljetusyritykset Ketosen Kuljetus Oy, Mikko Niskala Oy, Orpe Kuljetus Oy sekä Kuljetus Szepaniak Oy. Haluankin kiittää yritysten johtajia, kuljettajia ja muuta henkilökuntaa yhteistyöstä ja suopeasta asenteesta tutkimustamme kohtaan. Kiitokset myös kaikille muille tutkimuksen tekemistä tavalla tai toisella edesauttaneille henkilöille ja taholle. Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja läheisiäni kaikesta diplomityön ja opiskeluideni aikana saamastani tuesta ja kannustuksesta.

Espoo 30.5.2016

Tommi Heinonen

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Lyhenteet	7
1 Johdanto	8
2 Yhdistelmäajoneuvojen mittoja, massoja ja konfiguraatioita	11
2.1 Yhdistelmäajoneuvojen koon kehitys Suomessa	11
2.2 Vetoauton ja puoliperävaunun yhdistelmä	13
2.3 Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä	14
2.4 Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä	15
2.5 Moduuliyhdistelmät (European Modular System)	16
2.6 Poikkeusluvan vaativat HCT-ajoneuvoyhdistelmät	19
3 Raskaiden ajoneuvojen vaikutukset liikennevirtaan	21
3.1 Raskaat ajoneuvot liikennevirrassa	21
3.2 Nopeudet	22
3.3 Jonoutuminen	26
3.4 Ohittaminen	28
4 Aiemmat HCT-kokeilut ja -tutkimukset	34
4.1 HCT-kuljetusten ja -tutkimusten tilanne maailmalla	34
4.2 Ruotsalaiset HCT-kokeilut	35
4.2.1 En Trave Till eli ETT-projekti	35
4.2.2 DUO2-projekti	37
4.2.3 Muut ruotsalaiset HCT-kokeilut	39
4.3 HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia	39
4.3.1 Raskaan ajoneuvon koon vaikutukset liikenneturvallisuuteen	39
4.3.2 Ajoneuvopituuden vaikutukset ohittamiseen	43
4.3.3 Muita HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia	47
5 Tutkimusmateriaalin kerääminen ja analysointi	49
5.1 Esiselvitys mahdollisista tutkimuskohteista	49
5.2 Tutkimuskohteet	50
5.2.1 Ketosen Kuljetus Oy	50
5.2.2 Mikko Niskala Oy	54
5.2.3 Orpe Kuljetus Oy ja Kuljetus Szepaniak Oy	57
5.3 Tutkimuslaitteisto	60
5.4 Tutkimusmateriaalin analysointi	65
6 Tutkimustulokset	73
6.1 Ohitukset	73
6.1.1 Ohitusten määrä	73
6.1.2 Ohitusten kesto	76
6.1.3 Ohitusmatkan pituus	78
6.1.4 Ohitusnopeudet	79
6.1.5 Ohitusaikavälin pituus	87
6.1.6 Turva-aikojen pituus	91
6.1.7 Muita havaintoja ohituksiin liittyen	94
6.2 Jonoutuminen	95
6.2.1 Jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana	95
6.2.2 Seuranta-ajan kesto	97

6.3	Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen .....	102
6.3.1	Keskinopeudet .....	102
6.3.2	Nopeudet Magneettimäessä .....	102
6.3.3	Kiertoliittymissä ja muissa liittymissä ajaminen.....	105
6.3.4	Muita havaintoja .....	110
7	Tulosten analysointi ja luotettavuuden arviointi.....	112
7.1	Ohitukset .....	112
7.2	Jonoutuminen .....	117
7.3	Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen .....	119
8	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	123
	Lähdeluettelo .....	127

## Lyhenteet

ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EMS	European Modular System
ETT	En Trave Till
HCM	Highway Capacity Manual
HCT	High Capacity Transport
HPV	Higher Productivity Vehicles
LAM	Liikenteen automaattinen mittauspiste
LCV	Longer Combination Vehicles
LHV	Longer and/or Heavier Vehicles
PBS	Performance Based Standards

# 1 Johdanto

High Capacity Transport- eli HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan yleensä tarkasteltavan valtion kansallisessa lainsäädännössä asetetut enimmäismitat ja/tai -massat ylittäviä ajoneuvoyhdistelmiä. Erikoiskuljetusajoneuvoja ei kuitenkaan luokitella HCT-ajoneuvoyhdistelmiksi. High Capacity Transport ei ole ainoa tavallista suurempia ajoneuvoyhdistelmiä kuvaamaan käytetty termi, vaan eri maanosissa normaalia suurempia ajoneuvoja voidaan kuvata myös muilla nimillä. Esimerkiksi Euroopassa käytetään termiä Longer and/or Heavier Vehicles (LHV), Pohjois-Amerikassa termiä Longer Combination Vehicles (LCV) ja Australiassa termiä Higher Productivity Vehicles (HPV) (Ilgner & Benrick 2014). HCT-ajoneuvoista käytetään myös arkipäiväisempiä nimityksiä, jollaisia edustavat esimerkiksi Suomessa käytetyt termit jättirekka, ekorekka ja superrekka. Tässä mallisemmin HCT-ajoneuvoyhdistelmiä voidaan kuvata suomenkielisellä termillä suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmä.

Tämän työn yhteydessä HCT-ajoneuvoyhdistelmillä tarkoitetaan Suomen lainsäädännössä asetetun 25,25 metrin maksimipituuden ja/tai 76 tonnin kokonaispainon ylittäviä ajoneuvoyhdistelmiä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on myöntänyt joitakin määräaikaista poikkeuslupia HCT-ajoneuvoyhdistelmille. Poikkeuslupan saaneilla yrityksillä on velvollisuus osallistua HCT-kokeiluun liittyviin tutkimuksiin, joissa selvitetään, miten normaalia suuremmat ajoneuvot vaikuttavat esimerkiksi tiestöön, kuljetustalouteen, kuljetusten ympäristövaikutuksiin ja muuhun liikenteeseen (Trafi.fi 2016a). Liikennevirasto on tilannut Aalto-yliopistolta tutkimuksen, jonka tarkoituksena on selvittää, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat liikennevirtaan ja liikenteen sujuvuuteen. Tutkimus jakautuu kolmeen vaiheeseen kuvan 1.1 osoittamalla tavalla. Tämä diplomityö muodostaa tutkimuksen toisen vaiheen, ja valtaosa diplomityön tekstistä sekä työssä esitetyt tulokset tullaan sisällyttämään myöhemmin valmistuvaan kokonaisraporttiin.

## Vaihe I - Esiselvitys (8/2014–8/2015)

- HCT-ajoneuvoyhdistelmien kartoittaminen ja tutkimuskohteiden valinta
- Tutkimuslaitteiston suunnittelu ja asennus yhteen HCT-ajoneuvoyhdistelmään
- Materiaalin analysointimenetelmän kehittäminen

## Vaihe II - Diplomityö (8/2015–5/2016)

- Tutkimuslaitteistojen asennus viiteen muuhun yhdistelmäajoneuvoon
- Tutkimusaineiston keräämistä ja laitteistojen ylläpitoa
- Analysointimenetelmän jatkokehitys ja Ivalo–Rovaniemi -reitin aineistojen analysointi
- Kirjallisuusselvityksen tekeminen
- Diplomityön kirjoittaminen

## Vaihe III - Kokonaisraportti (5/2016–syksy 2016)

- Tutkimusaineiston keräämistä ja laitteistojen ylläpitoa
- Vantaa–Kempele -reitin sekä Saimaan ympäristön aineistojen analysointi
- Tulosten vertailua ja kokonaisuuden analysointia
- Kokonaisraportin kirjoittaminen
- Tutkimuslaitteistojen purkaminen

Kuva 1.1. Tutkimusprojektin vaiheistus ja diplomityön osuus kokonaistutkimuksesta.



HCT-ajoneuvoilla voidaan kuljettaa kerralla suurempi määrä tavaraa, jolloin energiankulutuksen suhde hyötykuormaan laskee. Kun polttoaineenkulutus kuljetettua tavaramäärää kohden laskee, pienenevät myös kuljetusyksikköä kohti lasketut päästöt ja kuljetuskustannukset. Ajoneuvoyhdistelmien massan kasvaessa yhdistelmien akselien määrää lisätään, jolloin tiehen välittyvä akselikuormitus ei kasva normaalipainoisiin yhdistelmiin verrattuna. Koska HCT-ajoneuvoyhdistelmien hyötykuorma on tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä suurempi, voidaan HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrää lisäämällä vähentää raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää tieverkolla. Trafín myöntämät määräaika- ja poikkeusluvut ovat yleensä kestoaltaan viisivuotisia ja niitä voidaan myöntää yrityksille, jotka anovat lupaa uuden tekniikan kokeilemisen, tuotekehityksen tai muun erityisen syyn vuoksi. Luvat ovat ajoneuvokohtaisia ja lupaehdoissa on kullekin ajoneuvolle tarkkaan määritelty sallittu liikennöintireitti. Huhtikuun 2016 alussa HCT-ajoneuvoyhdistelmiä oli liikenteessä kahdeksalla eri yrityksellä yhteensä yksitoista kappaletta. Kyseisten ajoneuvoyhdistelmien pituus vaihtelee noin 27–34,5 metrin välillä ja suurin sallittu massa 68–104 tonnin välillä. Viidellä yhdistelmästä kuljetetaan merikontteja, kolmella raakapuuta ja kolmella päivittäistavaroita ja kappaletavaraa. Liikenteessä olevien ajoneuvoyhdistelmien lisäksi Trafín käsittelyssä on useita poikkeuslupahakemuksia uusille HCT-ajoneuvoyhdistelmille. (Trafí.fi 2016a, Trafí.fi 2016b.)

HCT-ajoneuvoihin liittyvää tutkimusta on tehty muun muassa Australiassa, Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa. Tutkimustulosten ja HCT-ajoneuvoista saatujen kokemusten perusteella HCT-ajoneuvoilla katsotaan olevan potentiaalia kuljetuskustannusten ja raskaan liikenteen aiheuttamien päästöjen vähentämiseen. Kaikki tavallista suurempien ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset eivät kuitenkaan ole tiedossa. Aalto-yliopiston tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat muuhun liikenteeseen normaalikokoisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna. Tarkempia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat ohituskäyttäytymiseen?
- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat jonoutumiseen?
- Miten HCT-ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen liikenteessä eroaa muista yhdistelmästä?

Tutkimusmenetelmänä on käytetty ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvien asioiden videokuvaamista ja näin syntyneen materiaalin jälkianalysointia. Tutkimusmateriaalia on kerätty kolmella HCT-ajoneuvoyhdistelmällä ja kolmella normaalikokoisella verrokkiyhdistelmällä. Tutkimuksen esiselvitysvaiheen perusteella tutkimusmateriaalia tuottaviksi HCT-ajoneuvoyhdistelmiksi valittiin Ketosen Kuljetus Oy:n raakapuuta Lapissa kuljettava yhdistelmä, Mikko Niskala Oy:n päivittäistavaraa Vantaan ja Kempeleen välillä kuljettava yhdistelmä sekä Orpe Kuljetus Oy:n raakapuuta Saimaan ympäristössä kuljettava yhdistelmä. Ketosen Kuljetus Oy:n ja Mikko Niskala Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmien verrokkiyhdistelminä toimivat kyseisten yritysten normaalikokoiset ajoneuvoyhdistelmät, jotka liikennöivät HCT-ajoneuvoyhdistelmien kanssa samoilla reiteillä. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkiyhdistelmänä toimii Kuljetus Szepaniak Oy:n pääasiassa puuhaketta kuljettava ajoneuvoyhdistelmä, joka liikennöi osittain samalla reitillä Orpe Kuljetus Oy:n yhdistelmän kanssa. Koska kaksikaistaisilla tieosuuksilla kerättävä materiaali todettiin tutkimuksen kannalta mielenkiintoisimmaksi, ei tutkimuslaitteistoa asennettu ensimmäisenä Suomessa liikennöinnin aloittaneisiin HCT-ajoneuvoyhdistelmiin, jotka kuljettavat merikontteja ja joiden reitit sisältävät paljon 2+2-kaistaisia tieosuuksia. Esiselvitysvaihetta ja tutkimukseen valittujen HCT-ajoneuvoyhdistelmien valintakriteerejä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.1. Tutkimuslaitteistolla varustettuja ajoneuvoyhdistelmiä ja niiden reittejä on puolestaan kuvattu tarkemmin luvussa

5.2. Kuten kuvassa 1.1 esitettiin, tässä työssä esitetyt tulokset perustuvat Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvojen tuottamaan aineistoon reitiltä Ivalo–Rovaniemi. Kahden muun reitin materiaali analysoidaan myöhemmin tutkimusprojektin kolmannessa vaiheessa.

Kuhunkin tutkimuksessa käytetyistä ajoneuvoyhdistelmistä asennettiin tutkimuslaitteisto, jonka pääkomponentteina oli kolme videokameraa ja GPS-paikannin. Ajoneuvoyhdistelmien viimeiseen perävaunuun asennettiin ajoneuvoyhdistelmän taakse kuvaava kamera, vetoautojen kuljettajanpuoleiseen seinään asennettiin yhdistelmän vasemmalle sivulle kuvaava kamera ja ajoneuvojen ohjaamoon asennettiin eteenpäin kuvaava kamera. Kameroiden sijoittamisella mahdollistettiin esimerkiksi ohitustapahtumien kokonaisvaltainen analysointi. GPS-paikantimen avulla voitiin tieto ajoneuvoyhdistelmien nopeudesta ja sijainnista yhdistää kerättyyn videomateriaaliin. Tutkimuslaitteistoa on esitelty tarkemmin luvussa 5.3. Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottamasta aineistosta saatuja tuloksia on esitetty luvussa kuusi ja tuloksia on analysoitu luvussa seitsemän.

Kokonaiskuvan hahmottamiseksi diplomityön osana tehtiin myös kirjallisuusselvitys, jonka tarkoituksena oli tutkia raskaiden ajoneuvojen kokoa ja sitä määrittelevää lainsäädäntöä Suomessa, raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirtaan, HCT-kuljetusten tilannetta maailmalla sekä aiempia HCT-ajoneuvoista tehtyjä tutkimuksia. Kirjallisuusselvitys on jaettu kolmeen lukuun siten, että luvussa kaksi on esitelty raskaiden ajoneuvojen mittoja, massoja ja yhdistelmien konfiguraatioita sekä niiden kehitystä Suomessa, luvussa kolme on kuvattu raskaan liikenteen vaikutuksia liikennevirtaan ja luvussa neljä on käyty läpi HCT-kuljetusten ja niistä tehtyjen tutkimusten tilannetta maailmalla.

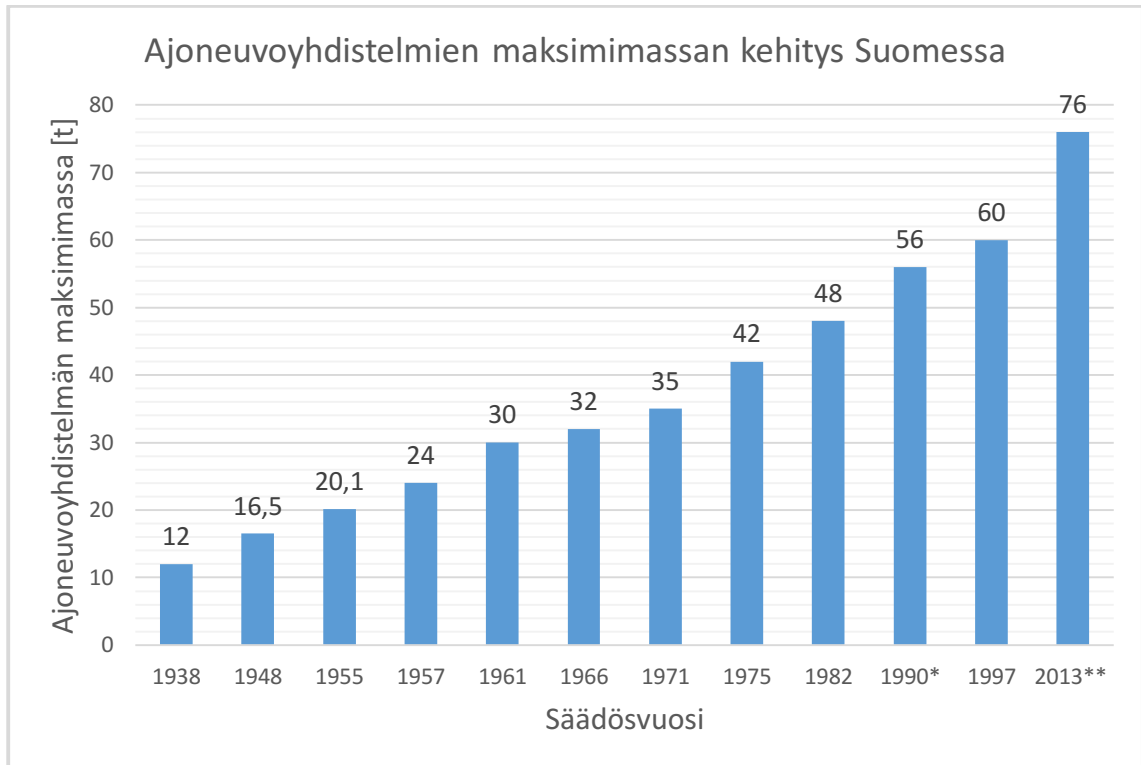
## 2 Yhdistelmäajoneuvojen mittoja, massoja ja konfiguraatioita

### 2.1 Yhdistelmäajoneuvojen koon kehitys Suomessa

Ensimmäinen kuorma-auto tuotiin Suomeen vuonna 1905 ja niiden rekisteröinti aloitettiin vuonna 1914, jolloin kuorma-autoja oli Suomessa noin 200 kappaletta (Ojanen 2000). Sata vuotta myöhemmin, vuonna 2014, rekisteröityjä kuorma-autoja tilastoitiin Suomessa 138 077 kappaletta (Tilastokeskus 2015). Teollistumisen myötä ja sen jälkeen elinkeinoelämän edelleen kehittyessä kuljetustarpeet ovat lisääntyneet, ja toisaalta tieverkoston laajeneminen ja laadun parantuminen sekä ajoneuvotekniikan kehittyminen ovat mahdollistaneet paitsi ajoneuvojen määrän kasvun, myös ajoneuvojen massojen ja mittojen kasvamisen. Tieliikenteeseen rekisteröityjen ajoneuvojen enimmäismassat ja -mitat pohjautuvat suomalaiseseen lainsäädäntöön, joka on puolestaan harmonisoitu Euroopan unionin lainsäädännön mukaiseksi Suomen EU-jäsenyyden myötä (Ahonen 2015). Tämä luku esittelee yhdistelmäajoneuvojen mittojen ja massojen kehitystä Suomessa sekä nykyisen lainsäädännön mahdollistamia ajoneuvoyhdistelmätyyppejä. Katsaus helpottaa ymmärtämään, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmät eroavat tavallisista ajoneuvoyhdistelmistä ja millaisista osista HCT-ajoneuvoyhdistelmiä voidaan muodostaa.

Vuoteen 1922 asti lainsäädännössä ei määritelty kuorma-autojen maksimimassoja, vaan kuorma-autovalmistajat ilmoittivat ajoneuvoilleen rakenteelliset kokonaismassat, jotka olivat yleisesti 1,5 ja 10 tonnin välillä. Vuonna 1922 lainsäätäjät määrittivät autoasetuksen, jonka myötä kuorma-auton suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi määriteltiin 6 tonnia viertoteillä eli luonnonkivillä tai sepelillä päällystetyillä teillä, joita oli käytännössä vain Helsingissä. I-luokan maanteillä enimmäismassa oli 4,5 tonnia ja II-luokan maanteillä 3 tonnia. Moottoritilavuuksien kasvettua, akselien määrän lisääntyttyä kahdesta kolmeen–neljään, renkaiden muututtua täyskumisista ilmatäytteisiksi, käyttövoiman vaihduttua bensiinistä dieseliin, tieverkoston kehityttyä ja ajoneuvorakenteiden muututtua erityistarpeisiin sopivaksi, kuorma-autojen laissa määrätty maksimipaino kasvoi pienin askelin. Vuonna 1938 kolmeakselisen kuorma-auton suurimmaksi sallituksi kokonaispainoksi asetettiin 10,5 tonnia. (Ojanen 2000.)

Samana vuonna määriteltiin ensimmäistä kertaa kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa. Suurimmaksi sallituksi yhdistelmämassaksi asetettiin silloin 12 tonnia. Yhdistelmäajoneuvojen suurimman sallitun kokonaismassan kehitystä kuvaavasta kuvasta 2.1 nähdään, että 20 tonnin raja ylitettiin 1950-luvulla ja vuonna 1961 nousiin jo 30 tonnin kokonaispainoon. Kuorma-auton ja täysperävaunun muodostaman yhdistelmän maksimipituus oli puolestaan vuonna 1960 asetetun lain mukaan 18 metriä ja maksimikorkeus vuodesta 1966 eteenpäin neljä metriä. Vuonna 1975 ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu massa nostettiin 42 tonniin ja maksimipituus 22 metriin. Vuonna 1990 ajoneuvoyhdistelmän maksimimassa asetettiin 56 tonniin ja lisäksi sallittiin vähintään seitsemänakselisille yhdistelmille 60 tonnin kokonaismassa talvikuukausien aikana. Vuonna 1997 astui voimaan Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos 670/1997, joka on EU:n moduulidirektiivin (direktiivi 96/53/EY) kansallinen asetus. Asetuksessa määriteltiin niin sanottujen moduuliyhdistelmien maksimipituudeksi Suomessa 25,25 metriä ja suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi 60 tonnia vuoden ympäri. Moduuliyhdistelmiä ja moduulidirektiiviä on kuvattu tarkemmin luvussa 2.5. (Blomberg 1996, EUR-lex 1996, Ojanen 2000.)



Kuva 2.1. Ajoneuvoyhdistelmien suurimpien sallittujen kokonaismassojen kehitys ensimmäisen ja viimeisimmän ajoneuvoyhdistelmien kokonaispainoja koskeneen lainsäädännöllisen muutoksen välillä. Huomautukset:

\*Vuonna 1990 säädettiin yhdistelmien kokonaismassaksi 56 tonnia, mutta talvikuukausien aikana kokonaismassa sai kuitenkin olla 60 tonnia. Ympäri vuotiseksi enimmäismassaksi 60 tonnia säädettiin vuonna 1997.

\*\*Vuonna 2013 annetun asetuksen muutoksen myötä myös 76 tonnia painavammille HCT-ajoneuvoyhdistelmille voi ehtojen täytyessä saada poikkeusluvan Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta.

Moduulidirektiivin ja vuonna 1997 voimaan astuneen valtioneuvoston käyttöasetuksen muutoksen jälkeen seuraava suuri muutos laissa sallittuihin massoihin ja mittoihin tapahtui vuonna 2013, jolloin annettiin uusi Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos 407/2013. Asetuksessa nostettiin ajoneuvojen maksimikorkeus 4,2 metristä 4,4 metriin ja akselien määrästä riippuva yhdistelmän kokonaismassa nostettiin kahdeksanaksellisille yhdistelmille 60 tonnista 64 tonniin ja yhdeksänaksellisille yhdistelmille 60 tonnista 69 tonniin. Mikäli kuitenkin perävaunun tai perävaunujen painosta vähintään 65 prosenttia kohdistuu paripyörällisille akseleille, on kahdeksanaksellisen yhdistelmän maksimimassa 68 tonnia ja yhdeksänaksellisen yhdistelmän maksimimassa 76 tonnia. Seitsemänaksellisten ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassaa puolestaan nostettiin väliaikaisesti 60 tonnista 64 tonniin siten, että siirtymäkausi päättyy 30.4.2018. Yhdistelmäajoneuvojen lisäksi myös kuorma-autojen suurimpia sallittuja kokonaismassoja nostettiin. Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos mahdollisti myös poikkeusluvan hakemisen edellä mainittuja suuremmille, niin kutsutuille HCT-ajoneuvoyhdistelmille. Poikkeuslupahakemukset käsittelee ja mahdolliset luvat myöntää Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. HCT-yhdistelmien mittoja, massoja ja konfiguraatioita on esitelty luvussa 2.6. (Finlex 2013.)

On kuitenkin huomattava, että lainsäädännön määrittämät, muun muassa akselien määrästä ja rengastuksesta riippuvat ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimmat sallitut massat eivät ole ainoa massaa ja mittoja rajoittava tekijä. Ajoneuvon tai perävaunun ra-

kenteesta ja suorituskyvystä riippuva, valmistajan määräämä ja rekisteriotteeseen merkitty tieliikenteessä sallittu suurin kokonaismassa on ensisijainen painoa ajoneuvokohtaisesti määräävä tekijä. Myös infrastruktuuri asettaa omat rajoituksensa, jotka näkyvät esimerkiksi painorajoitettuina siltoina ja tieosuuksina sekä matalina alikulkuina. Lisäksi lainsäädännöllä on asetettu reunaehtoja ajoneuvoyhdistelmien vetoauton ja perävaunun massojen suhteelle, ajoneuvolta vaaditun tehon ja ajoneuvon kokonaismassan suhteelle sekä ajoneuvon massan ja ajoneuvon äärimmäisten akselien välisen etäisyyden suhteelle.

Yhdistelmäajoneuvojen osien massojen suhdetta säädellään laissa niin, että enintään 22,0-metrisissä yhdistelmissä perävaunun tai perävaunujen kokonaismassa saa olla korkeintaan 1,7-kertainen ja yli 22,0-metrisissä yhdistelmissä korkeintaan 2,5-kertainen vetoauton kokonaismassaan verrattuna. Vetoauton vähimmäistehoa puolestaan säädellään niin, että yli 44 tonnia painavissa yhdistelmissä vetoauton moottorissa tulee olla tehoa vähintään 5 kilowattia tonnia kohden. Yli 60 tonnia painaville yhdistelmille on kuitenkin säädetty määräaikainen, 30.4.2018 asti voimassa oleva poikkeus, jonka mukaan vetoauton tehon tulee olla vähintään 300 kilowattia plus 2,625 kilowattia jokaista 60 tonnin rajan ylittävää kokonaispainon tonnia kohden. Neljä- ja viisiakselisten kuorma-autojen sekä yli 44-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien äärimmäisten akselien välistä vähimmäisetäisyyttä puolestaan säädellään siltasäännöllä, jonka tarkoituksena on ehkäistä liian suuret piste-mäiset rasitukset silloilla. Koska ajoneuvon ja ajoneuvoyhdistelmän kokonaismassaa säädellään useilla lainkohdilla sekä ajoneuvokohtaisilla rajoituksilla, tulee ajoneuvoa kuormattaessa noudattaa kokonaismassaa ensimmäisenä rajoittavaa tekijää ja reittiä suunniteltaessa ottaa huomioon myös tiekohtaiset rajoitukset. (Finlex 2013.)

Luvuissa 2.2–2.6 on kuvattu tarkemmin Suomessa käytössä olevia ajoneuvoyhdistelmätyyppejä. Luvuissa 2.2–2.4 on käsitelty enintään 22-metrisiä yhdistelmiä perävaunun akselistorakenteen mukaan jaoteltuna ja luvussa 2.5 on käsitelty yli 22-metrisiä yhdistelmiä eli niin sanottuja moduuliyhdistelmiä. Luvussa 2.6 on puolestaan käsitelty yli 25,25 metriä pitkien ja/tai yli 76 tonnia painavien HCT-ajoneuvoyhdistelmien mahdollisia konfiguraatioita ja dimensioita.

## **2.2 Vetoauton ja puoliperävaunun yhdistelmä**

Puoliperävaunuyhdistelmät koostuvat puoliperävaunun vetoautosta ja puoliperävaunusta. Vetoautossa on yleensä kaksi tai kolme akselia, joissain tapauksissa useampiakin. Puoliperävaunun vetoauto on lyhyt kuorma-auto, jossa ei itsessään ole kiinteää kuormatilaa. Vetoauto on varustettu vetopöydällä, johon puoliperävaunu kytketään vetotapilla. Puoliperävaunun vetoautossa on joko yksi vetävä akseli tai kahdesta tai useammasta vetävästä akselistä muodostuva vetävä teli. Mikäli autossa on enemmän kuin kaksi akselia, voidaan osa taka-akseleista nostaa esimerkiksi ilman perävaunua ajettaessa ylös, jolloin vierintävastus pienenee, renkaiden kuluminen vähenee ja ajoneuvo käyttäytyy ketterämmin. Puoliperävaunun vetoauton maksimipaino on kaksiakselisilla vetoautoilla 18 tonnia ja kolmeakselisilla vetoautoilla 26 tonnia. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Puoliperävaunussa on useimmiten kaksi tai kolme akselia, jotka kaikki sijaitsevat vaunun takaosassa. Vaunun etuosan aiheuttama pystysuuntainen kuormitus kohdistuu vetoauton taka-akseleille vetopöydän kautta. Puoliperävaunun maksimipituus vetotapista vaunun perään on 12 metriä ja vetotapin pystyakselin keskeltä vaunun etuosan mihin tahansa kohtaan 2,04 metriä. Puoliperävaunun maksimileveys on 2,6 metriä ja suurin sallittu korkeus 4,4 metriä. Kaksiakselisen puoliperävaunun maksimimassa on 20 tonnia ja kolmeakselisen puoliperävaunun maksimimassa on 24 tonnia. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Liittämällä puoliperävaunu vetoautoon saadaan aikaan esimerkiksi kuvan 2.2 kaltainen puoliperävaunun yhdistelmä. Yhdistelmän suurin sallittu pituus on 16,5 metriä, leveys 2,6 metriä ja korkeus 4,4 metriä. Vetoauton ja perävaunun akselien määrästä riippuva yhdistelmän suurin sallittu massa vaihtelee 36 ja 48 tonnin välillä. Puoliperävaunut ovat suosittuja erityisesti Suomen rajat ylittävässä liikenteessä, sillä puoliperävaunut ovat yleensä standardikokoisia. Lisäksi Suomessa yleisillä 25,25 metriä pitkillä täysperävaunun yhdistelmillä liikennöiminen on sallittua vain harvoissa muissa maissa. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)



Kuva 2.2. Kolmeakselisen vetoauton ja kolmeakselisen puoliperävaunun yhdistelmä.

### 2.3 Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä

Keskiakseliperävaunu on jäykällä, niveltämättömällä vetoaisalla varustettu perävaunu, jossa on yleensä kaksi tai kolme akselia. Keskiakseliperävaunun akselisto sijaitsee pituussuunnassa katsottuna perävaunun keskellä perävaunun painopisteessä tai lähellä sitä. Keskiakseliperävaunu aiheuttaa vetoautoon vaakasuuntaisten voimien lisäksi jonkin verran pystysuuntaisia voimia, joita vetoauton vetokytkimen tulee pystyä vastaanottamaan. Kytkeäköhtään kohdistuva pystysuuntainen kuormitus saa olla enintään 1000 kg tai 10 prosenttia keskiakseliperävaunun kokonaismassasta sen mukaan, kumpi arvoista on pienempi. (Finlex 1997, Ahonen 2015.)

Keskiakseliperävaunun suurin sallittu kokonaismassa on kaksiakselisella telillä varustettuna 20 tonnia ja kolme- tai useampiakselisella telillä varustettuna 24 tonnia. Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on puolestaan 44 tonnia. Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmän suurin sallittu pituus on 18,75 metriä, josta kuormatilojen yhteenlaskettu ulkopituus saa olla enintään 15,65 metriä. Esimerkki kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.3. Keskiakseliperävaunu voidaan kiinnittää myös luvussa 2.2 esitettyyn puoliperävaunun yhdistelmään, jolloin saadaan aikaan moduulimittainen yhdistelmä. Erilaisia moduuliyhdistelmiä käsitellään tarkemmin aliluvussa 2.5. (Finlex 2013.)



Kuva 2.3. Kaksiakselisen kuorma-auton ja kaksiakselisen keskiakseliperävaunun muodostama yhdistelmä.

## 2.4 Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä

Keskiakseliperävaunun sijasta kuorma-autoon voidaan kiinnittää myös varsinainen perävaunu eli niin sanottu täysperävaunu. Varsinainen perävaunu eroaa edellisissä aliluvuissa esitellyistä puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta siinä, että varsinaisessa perävaunussa on vähintään yksi akseli sekä vaunun etu- että takaosassa. Varsinaisen perävaunun etuakseli on varustettu kääntökehällä, ja vaunun etuakselistoa käännetään vetoautoon kytketyn aisan avulla. Koska varsinaisessa perävaunussa on sekä etu- että taka-akselisto, vetoautoon ei kohdistu perävaunusta merkittäviä pystysuuntaisia voimia. Varsinaisen perävaunun taka-akselisto koostuu yleensä yhdestä neljään akselistasta ja etuakselistolla akseleita on yksi tai kaksi. Akselirakenteeltaan yleisimpiä täysperävaunutyyppejä Suomessa ovat neljä- ja viisiakseliset perävaunut, joissa kääntökehällä varustettu etuakselisto muodostuu kahdesta akselistasta ja taka-akselisto kahdesta tai kolmesta akselistasta. Osa perävaunun akseleista voidaan tehdä nostettaviksi, kevennettäviksi, ohjaaviksi tai ohjautuviksi. Ohjaavalla akselilla tarkoitetaan akselia, jonka renkaat kääntyvät ohjauspyörän liikkeen välityksellä. Ohjautuvalla akselilla tarkoitetaan puolestaan akselia, jonka renkaat kääntyvät renkaiden ja tienpinnan välisen kitkan johdosta. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Varsinaisen perävaunun suurin sallittu pituus perävaunun perästä etuakseliston kääntöpisteeseen on alle 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä 12,5 metriä ja yli 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä 12 metriä. Lisäksi etuakseliston kääntöpisteestä vaakatasossa mitattu etäisyys mihin tahansa etupuolella olevaan perävaunun kohtaan saa olla enintään 2,04 metriä. Suurin sallittu korkeus on puolestaan 4,4 metriä. Alle 22,0-metriä pitkissä yhdistelmissä perävaunun suurin sallittu leveys on 2,6 metriä ja tätä pidemmissä yhdistelmissä 2,55 metriä. Yli 22,0 metriä pitkissä yhdistelmissä varsinaisen perävaunun leveys saa kuitenkin olla enintään 2,6 metriä, mikäli vaunu on lämpöeristetty. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Varsinaista perävaunua vetävässä kuorma-autossa on yleensä kahdesta viiteen akselia. Osa-akseleista voi olla kevennettäviä tai nostettavia, ja etuakselin lisäksi myös yksi tai useampi taka-akseli voidaan tehdä ohjaavaksi tai ohjautuvaksi. Kuorma-auton maksimikokonaispaino riippuu muun muassa akselien määrästä, jousitustyyppistä sekä siitä, onko autossa yksikkö- vai paripyörät. Kuorma-auton suurin sallittu kokonaispaino vaihtelee kaksiakselisen kuorma-auton 18 tonnista viisiakselisen kuorma-auton 42 tonniin. Kuorma-auton suurin sallittu pituus on 12,0 metriä ja korkeus 4,4 metriä. Kuten varsinaisen perävaunun tapauksessa, kuorma-auton suurin sallittu leveys on alle 22-metriä pitkissä yhdistelmissä 2,6 metriä ja tätä pidemmissä yhdistelmissä 2,55 metriä, ellei kuormatila ole lämpöeristetty. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)

Yhdistämällä kuorma-auto ja varsinainen perävaunu saadaan aikaan niin sanottu täysperävaunuyhdistelmä. Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu pituus on 25,25 metriä. Yli 22,0 metriä pitkät ajoneuvoyhdistelmät luokitellaan moduuliyhdistelmiksi, joita käsitellään tarkemmin luvussa 2.5. Täysperävaunuyhdistelmän suurin sallittu massa riippuu muun muassa kuorma-auton ja perävaunun akselistorakenteesta, vetävien akselien määrästä ja massan jakautumisesta paripyörällisten ja yksikköpyörällisten akselien kesken. Esimerkiksi kaksiakselisen kuorma-auton ja kaksiakselisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa on 36 tonnia, kun taas kolmeakselisen vetoauton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa on 53 tonnia. Esimerkki kolmeakselisen kuorma-auton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun muodostamasta yhdistelmästä on kuvassa 2.4. (Finlex 2013, Ahonen 2015.)





*Kuva 2.4. Neljäkselisen kuorma-auton ja kolmeakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmä.*

## **2.5 Moduuliyhdistelmät (European Modular System)**

Euroopan Unionin direktiivissä 96/53 (1996) säädettiin EU-maiden välisessä liikenteessä puoliperävaunun kuormatilan maksimipituudeksi 13,6 metriä ja kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän kuormatilojen yhteenlasketuksi maksimipituudeksi 15,65 metriä. Käytännössä kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmissä molempien kuormatilojen pituus rajoitettiin siis 7,82 metriin. Direktiiviin jätettiin kuitenkin jousto, joka mahdollisti jäsenvaltioiden sallivan kansallisessa liikenteessään tätäkin suurempia ajoneuvoja ja ajoneuvoyhdistelmiä, kunhan yhdistelmät muodostuisivat direktiivissä 96/53 määritellyistä, niin sanotusti moduulimittaisista osista. Mikäli direktiiviin ei olisi määriteltä kyseistä joustoa, olisi vuonna 1995 EU:hun liittyneiden Suomen ja Ruotsin sisäinen kuljetustehokkuus laskenut merkittävästi, sillä näissä maissa pitkien ajoneuvoyhdistelmien käyttöön oli totuttu. Toisaalta direktiivissä määriteltä vaatimus siitä, että kuormatilojen edellä mainitut maksimipituudet ylittävä yhdistelmä on koottava standardoiduista, moduulimittaisista osista esti suomalaisia ja ruotsalaisia kuljetusyrittäjiä saamasta merkittävää kilpailuetua kansallisessa liikenteessä muualta EU:sta tuleviin toimijoihin nähden. (Jonsson & Åkerman 2007.)

Direktiivin 96/53 sisältämän jouston mahdollistamia, EU-maiden välisessä liikenteessä sallittuja yhdistelmäajoneuvoja suurempia, moduulikokoisista osista koottuja ajoneuvoyhdistelmiä kutsutaan moduuliyhdistelmiksi. Moduulijärjestelmä tunnetaan englanninkielisellä nimellä European Modular System (EMS). Direktiivissä ei ole määriteltä moduulimittaisista osista koottujen yhdistelmäajoneuvojen maksimimittoja, vaan ne määritellään kunkin maan kansallisessa lainsäädännössä. Suomessa ja Ruotsissa ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu pituus on 25,25 metriä. Käytännössä 25,25 metriä pitkä yhdistelmä voidaan muodostaa EMS-standardin mukaisista osista kolmella eri tavalla käyttäen yhtä pitkää (maksimissaan 13,6 m) ja yhtä lyhyttä (maksimissaan 7,82 m) kuormatilaa. (Jonsson & Åkerman 2007.)

Ensimmäinen tapa on liittää 7,82 metrin kuormatilan omaavaan kuorma-autoon 13,6 metrin kuormatilan omaava täysperävaunu. Täysperävaunun kaltainen yksikkö voidaan muodostaa myös 13,6 metrin kuormatilan omaavasta puoliperävaunusta ja kuvassa 2.5 nähtävästä apuvaunusta eli dollysta, joka on vetopöydällä varustettu keskiakseliperävaunu. Kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta tai kuorma-autosta, apuvaunusta ja puoliperävaunusta muodostetun 25,25 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 76 tonnia. Se voidaan saavuttaa, kun yhdistelmässä on vähintään yhdeksän akselia, vähintään 65 prosenttia perävaunun massasta kohdistuu paripyörällisille ak-



seleille ja vähintään 20 prosenttia yhdistelmän kokonaismassasta kohdistuu vetäville akseleille. Esimerkki kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.6. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



*Kuva 2.5. Kuorma-auto vetää apuvaunua eli dollia, joka on vetopöydällä varustettu keskiakseliperävaunu. Apuvaunuun voidaan kiinnittää puoliperävaunu, jolloin saadaan aikaan varsinaisen perävaunun kaltainen aisasta vedettävä yksikkö.*



*Kuva 2.6. Ensimmäinen EMS-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta. Varsinaisen perävaunun sijasta voidaan kuorma-autoon liittää myös apuvaunusta eli dollista ja puoliperävaunusta muodostettu varsinaisen perävaunun kaltainen yksikkö.*

Toinen mahdollinen tapa 25,25 metriä pitkän moduuliyhdistelmän muodostamiseksi on kiinnittää puoliperävaunun vetoautoon 13,6 metrin pituisen kuormatilan omaava puoliperävaunu sekä sen perään 7,82 metrin pituisen kuormatilan omaava keskiakseliperävaunu. Kolmeakselisen puoliperävaunun vetoauton, kolmeakselisen puoliperävaunun ja kaksiakselisen keskiakseliperävaunun suurin sallittu kokonaismassa on 68 tonnia, mikäli vähintään 65 prosenttia perävaunujen massasta kohdistuu paripyörällisille akseleille. Esimerkki vetoauton, puoliperävaunun ja keskiakseliperävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.7. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



*Kuva 2.7. Toinen mahdollinen EMS-ajoneuvoyhdistelmä koostuu vetoautosta, puoliperävaunusta ja keskiakseliperävaunusta.*

Kolmas mahdollinen tapa 25,25 metriä pitkän moduuliyhdistelmän muodostamiseksi on liittää puoliperävaunun vetoautoon kaksi puoliperävaunua. Vetoautoon kiinnitettävä puoliperävaunu on tällöin niin sanottu linkkivaunu, jonka taka-akseliston päällä on vetopöytä, johon toinen puoliperävaunu kiinnitetään. Tätä yhdistelmätyyppiä kutsutaan nimillä B-linkki, B-moduuli ja B-juna. Kolmeakselisen vetoauton, kolmeakselisen linkkivaunun ja kolmeakselisen puoliperävaunun muodostaman yhdistelmän suurin sallittu kokonaispaino on 74 tonnia, mikäli vähintään 65 prosenttia perävaunujen massasta kohdistuu paripyörällisille aksleille ja vähintään 20 prosenttia yhdistelmän kokonaismassasta kohdistuu vetäville aksleille. Esimerkki vetoauton, linkkivaunun ja puoliperävaunun muodostamasta moduuliyhdistelmästä on esitetty kuvassa 2.8. (Jonsson & Åkerman 2007, Finlex 2013.)



*Kuva 2.8. Kolmas mahdollinen EMS-yhdistelmä koostuu vetoautosta, linkkivaunuksi kutsutusta puoliperävaunusta sekä tavallisesta puoliperävaunusta. Yhdistelmää kutsutaan muun muassa B-linkiksi ja B-junaksi.*

EMS-järjestelmän edut korostuvat esimerkiksi satamista Suomeen tulevassa liikenteessä. Meriteitse saapuva puoliperävaunu voidaan noutaa tavallisella puoliperävaunun vetoautolla, kuorma-auton ja apuvaunun yhdistelmällä tai vetoauton ja linkkivaunun yhdistelmällä. Tämä lisää kuljetusten joustavuutta ja tehokkuutta, kun samalla ajoneuvoyhdistelmällä voidaan kuljettaa puoliperävaunun lisäksi tarvittaessa muitakin. Vastaavasti vientiliikenteessä satamaan voidaan viedä yhdellä yhdistelmällä esimerkiksi yksi lyhyt ja yksi pitkä kontti, jotka vastaanottajamaassa kuljetetaan kahdella eri ajoneuvoyhdistelmällä. Lisäksi standardimittaiset kuljetusyksiköt helpottavat intermodaalisuuden lisäämistä, sillä esimerkiksi puoliperävaunulla voidaan kuljettaa kaksi 20 jalan merikonttia tai yksi 40 tai 45 jalan merikontti. Suurimmassa osassa muuta Eurooppaa kuljetukset hoidetaan joko yhdellä pitkällä kuljetusyksiköllä (puoliperävaunuyhdistelmä) tai kahdella lyhyellä

kuljetusyksiköllä (7,82 metrin kuormatilan omaavalla kuorma-autolla ja siihen liitetyllä 7,82 metrin kuormatilan omaavalla perävaunulla). Koska EMS-järjestelmän mukainen yhdistelmä voi kuljettaa yhden pitkän ja yhden lyhyen kuljetusyksikön, voidaan kahdella moduuliyhdistelmällä kuljettaa kolmea eurooppalaista standardiyhdistelmää vastaava määrä kuljetusyksiköitä. (Jonsson & Åkerman 2007, Ahonen 2015.)

Suomen lisäksi 25,25 metriä pitkällä moduuliyhdistelmillä liikennöinti on sallittua Ruotsissa. Maiden lainsäädäntö ei kuitenkaan ole täysin yhteneväinen, sillä Suomessa sallituilla 13,6-metriä pitkällä varsinaisilla perävaunuilla ei voida liikennöidä Ruotsissa. Ruotsin lainsäädännön mukaan 13,6 metriä pitkä varsinaisen perävaunun kaltainen perävaunu voidaan kuitenkin muodostaa puoliperävaunusta apuvaunun avulla. Kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta muodostetun ajoneuvoyhdistelmän maksimipituus Ruotsissa on 24,0 metriä. Alankomaissa, Norjassa, Tanskassa ja Saksassa moduuliyhdistelmillä voidaan liikennöidä rajoitetulla tieverkolla, mutta ne ovat huomattavasti harvinaisempia kuin Suomessa ja Ruotsissa. (Jonsson & Åkerman 2007.)

## **2.6 Poikkeusluvan vaativat HCT-ajoneuvoyhdistelmät**

Kuten kappaleessa 2.1 esitettiin, Suomen voimassa oleva lainsäädäntö määrittelee ajoneuvoyhdistelmän maksimipituudeksi 25,25 metriä ja suurimmaksi sallituksi massaksi 76 tonnia. Vuonna 2013 asetettuun Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutokseen 407/2013 kirjattiin kuitenkin pykälä, joka teki mahdolliseksi hakea liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeuslupaa tätäkin suuremmille yhdistelmäajoneuvoille. HCT (High Capacity Transport) -yhdistelmillä tarkoitetaan yhdistelmäajoneuvoja, joiden massa tai pituus tai molemmat yhtäaikaaisesti ylittävät laissa mainitut enimmäisarvot, mutta joita ei kuitenkaan luokitella erikoiskuljetusajoneuvoiksi. Poikkeusluvan saamisen ehtoina mainitaan, että poikkeuslupaa anotaan uuden tekniikan kokeilemisen, tuotekehityksen tai muun erityisen syyn vuoksi. Poikkeusluvan myöntäminen ei saa myöskään aiheuttaa vaaraa liikenneturvallisuudelle tai vääristää kilpailua. Poikkeuslupahakemuksessa tulee tarkkaan ilmoittaa, mihin poikkeuslupaa haetaan ja mikä luvan hakemisen syy on. Lisäksi hakemuksesta tulee selkeästi ilmetä kokeilun sisältö, tavoitteet ja laajuus tieverkolla. (Finlex 2013, Trafi 2016a.)

Käytännössä poikkeusluvan saamiseksi ajoneuvoyhdistelmältä ei siis edellytetä tietynlaista konfiguraatiota, vaan sallittujen akselipainojen rajoissa, liikennöintireitin rajoitukset huomioon ottaen ja yhdistelmän suunnitellusta käyttökohteesta riippuen tavallista suurempi HCT-yhdistelmä voidaan rakentaa hyvinkin erilaisista osista. Valtaosassa Suomessa nyt käytössä olevista HCT-yhdistelmistä on kaksi perävaunua ja vähintään 11 akselia. Osa HCT-ajoneuvoyhdistelmistä on suunniteltu niin, että niiden osat ovat standardimittaisia ja siten yhteensopivia kuljetusjärjestelmän muiden ajoneuvojen kanssa, kun taas osassa HCT-yhdistelmistä esimerkiksi puoliperävaunut ovat standardimitoista poikkeavia ja kyseiseen kuljetustehtävään ja ajoneuvoyhdistelmään räätälöityjä. Useissa HCT-yhdistelmistä on vetoauton etuakselin lisäksi muitakin ohjaavia tai ohjautuvia aksleita kääntyvyysominaisuuksien parantamiseksi. Lisäksi HCT-ajoneuvoissa on usein turvallisuutta parantavia ja esimerkiksi liukkaalla kelillä ajamista helpottavia varusteita. (Trafi 2016a, Trafi 2016b.)

Tavallista suurempi ajoneuvoyhdistelmä voidaan muodostaa esimerkiksi lisäämällä normaalipituiseen puoliperävaunuyhdistelmään varsinainen perävaunu tai toinen puoliperävaunu apuvaunun avulla (kuva 2.9). Mahdollista on myös käyttää vetoauton perässä vetopöydällä varustettua pitkää linkkivaunua, jonka päälle toinen puoliperävaunu kytketään (kuva 2.10). Tavallista pidempi yhdistelmä saadaan aikaan myös, kun kuorma-autoon

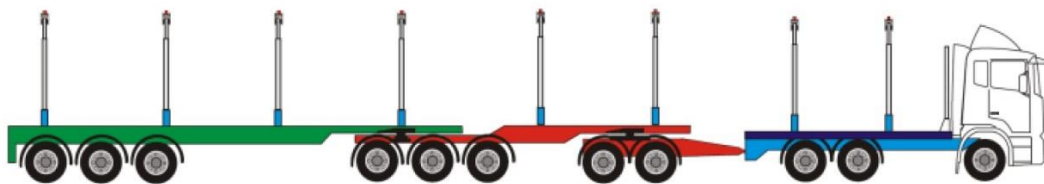
kytketään apuvaunu, vetopöydällinen puoliperävaunu sekä tavallinen puoliperävaunu (kuva 2.11). Yli 25,25-metriä pitkä ajoneuvoyhdistelmä voidaan muodostaa myös esimerkiksi kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta (kuva 2.12). (Jonsson & Åkerman 2007.)



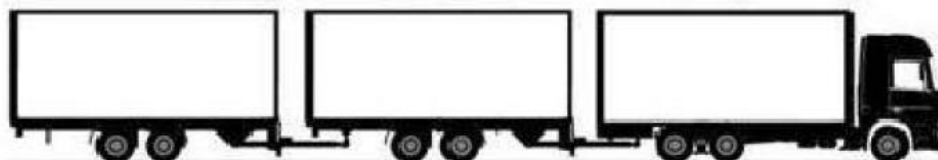
Kuva 2.9. Havainnekuva puoliperävaunun vetoautosta, puoliperävaunusta, apuvaunusta ja toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä. Apuvaunun ja taaimmaisen puoliperävaunun muodostama yksikkö voidaan myös korvata varsinaisella perävaunulla. (Jonsson & Åkerman 2007.)



Kuva 2.10. Havainnekuva puoliperävaunun vetoautosta, vetopöydällä varustetusta pitkästä puoliperävaunusta eli linkkivaunusta sekä toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Jonsson & Åkerman 2007.)



Kuva 2.11. Havainnekuva kuorma-autosta, apuvaunusta, vetopöydällä varustetusta puoliperävaunusta eli linkkivaunusta sekä toisesta puoliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Von Hofsten & Funck 2015.)



Kuva 2.12. Havainnekuva kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta muodostetusta HCT-ajoneuvoyhdistelmästä (Jonsson & Åkerman 2007.)

Vuoden 2016 huhtikuun alkuun mennessä Suomessa liikennöinnin aloittaneet HCT-ajoneuvoyhdistelmät ovat pituudeltaan noin 27–34,5 -metrisiä ja suurimmalta sallitulta kokonaismassaltaan 68–104 -tonnisia. Käyttökohteet vaihtelevat konttikuljetuksista kappale-tavarakuljetuksiin ja päivittäistavarakaupan kuljetuksista raakapuukuljetuksiin. Lisäksi Trafin käsittelyssä on tätä kirjoitettaessa useita uusia poikkeuslupahakemuksia, joten on todennäköistä, että lähitulevaisuudessa Suomen teillä nähdään HCT-ajoneuvoja myös muissa kuljetustehtävissä. Tämän tutkimuksen kohteena olevia HCT-ajoneuvoyhdistelmiä on kuvattu tarkemmin viidennessä luvussa. Ruotsissa käytössä olevia HCT-yhdistelmiä on kuvattu tarkemmin luvussa neljä. (Trafi 2016a, Trafi 2016b.)



### 3 Raskaiden ajoneuvojen vaikutukset liikennevirtaan

#### 3.1 Raskaat ajoneuvot liikennevirrassa

Liikennevirran ominaisuuksista tärkeimpinä voidaan pitää liikennemäärää, liikenteen ajoneuvokoostumusta, suuntajakaumaa, ajoneuvojen nopeuksia, liikennetiheyttä, jononmuodostusta sekä ajoneuvojen aikavälejä (Pesu 1996). Liikennevirran ominaisuuksiin vaikuttavat niin väylään, liikennevirran muodostaviin ajoneuvoyksiköihin ja niiden kuljettajiin kuin esimerkiksi säähän ja ajokeliin liittyvät tekijät (Lehtonen 2008). Koska liikenteeseen vaikuttavia tekijöitä on samanaikaisesti useampia, yksiselitteisten vuorovaiikutussuhteiden havaitseminen ja niiden teoreettinen kuvaaminen on haasteellista. Kuvaavaa onkin, että raskaan liikenteen vaikutuksia liikennevirtaan käsitelleet tutkimukset ovat päätyneet osittain ristiriitaisiin tuloksiin. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi joitakin liikennevirran kuvaamiseen käytettyjä menetelmiä ja peruseräitä sekä sitä, millaisia vaikutuksia raskailla ajoneuvoilla ja niiden määrällä on liikennevirtaan ja mistä vaikutukset johtuvat. Raskaalla ajoneuvolla tarkoitetaan tässä yhteydessä kuorma-autoja, ajoneuvoyhdistelmiä sekä linja-autoja.

Kuorma-autojen liikennesuorite vuoden 2014 aikana oli noin 3,3 miljardia ajoneuvokilometriä, kun taas linja-autojen liikennesuorite oli noin 580 miljoonaa ajoneuvokilometriä. Liikennesuoritteiden perusteella voidaankin olettaa, että kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät aiheuttavat pääosan raskaiden ajoneuvojen vaikutuksista liikennevirtaan. Vertailun vuoksi todettakoon, että henkilöautojen liikennesuorite vuonna 2014 oli 28,8 miljardia ajoneuvokilometriä ja pakettiautojen liikennesuorite noin 3,9 miljardia ajoneuvokilometriä. (Liikennevirasto 2015c.)

Yhdysvaltalaisista Highway Capacity Manualia pidetään välityskykytarkastelujen perusteksena ympäri maailmaa. HCM:n uusimmassa, vuonna 2010 julkaistussa painoksessa raskaiden ajoneuvojen kuvataan vaikuttavan liikennevirtaan kahdella tavalla. Koska raskaat ajoneuvot ovat henkilöautoja suurempia, vaativat ne enemmän tietilaa. Toisaalta niiden toiminnalliset ominaisuudet eroavat henkilöautoista, sillä esimerkiksi kiihtyvyys ja hidastuvuus ovat raskailla ajoneuvoilla henkilöautoja heikompia. Tästä johtuen raskaat ajoneuvot eivät pysty pitämään samaa nopeutta henkilöautojen kanssa, vaan nopeudet hidastuvat esimerkiksi nousuissa huomattavasti. Liikennevirrassa raskaiden ajoneuvojen eteen muodostuu välejä, jolloin tietilan käyttö ei ole tehokasta. Nopeammin ajavat ajoneuvot pyrkivät täyttämään liikennevirran välejä ohituksilla, mutta niiden toteuttaminen riippuu tieverkolla olevista ohitusmahdollisuuksista. (Pesu 1996, Lehtonen 2008, TRB 2010.)

Suuremman tilantarpeen ja huonomman suorituskyvyn lisäksi raskailla ajoneuvoilla on psykologisia vaikutuksia muiden ajoneuvojen kuljettajien ajokäyttäytymiseen ja heidän kokemaansa ajomukavuuteen. Summala et al. (2003) havaitsivat tutkimuksessaan, että kuljettajalle on kuormittavampaa kohdata raskas ajoneuvo kuin henkilöauto. Osa kuljettajista esimerkiksi muuttaa ajonopeuttaan kohdatessaan vastaantulevan raskaan ajoneuvon. Mikäli ajoneuvo saavuttaa edellä ajavan raskaan ajoneuvon, osa kuljettajista jää sen taakse jonoon vieroksuen henkilöauton ohittamiseen verrattuna pidempää ohitusmatkaa. (Summala et al. 2003.)

Liikennetekniikassa raskaiden ajoneuvojen määrä otetaan usein huomioon henkilöautoekvivalentin avulla. Liikennetilanteesta, tien mäkisyydestä ja ajoneuvon tarkemmasta ajoneuvoluokasta riippuen raskaalle ajoneuvolle käytetään erilaisia vastaavuuskertoimia.

Esimerkiksi kaksikaistaisella, pituusleikkaukseltaan tasaisella tiellä ja palvelutasoluokassa A yksi kuorma-auto vastaa suomalaisen laskentaohjeen mukaan 2,0 henkilöautoa, kun taas hyvin mäkisellä osuudella yksi kuorma-auto vastaa 5,5 henkilöautoa. Muuttamalla vastaavalla tavalla myös linja-autojen ja nopeusrajoitettujen ajoneuvojen määrät omilla vastaavuuskertoimillaan henkilöautoyksiköiksi, voidaan ajoneuvokoostumuksiltaan erilaisia liikennevirtoja vertailla keskenään. (Pesu 1996.) Henkilöautoekvivalentin käyttöä liikennevirta-analyysissä voidaan kuitenkin jossain määrin kritisoida, sillä se ei pysty kuvaamaan raskaiden ajoneuvojen toiminnallisia eroavaisuuksia henkilöautoihin nähden. Esimerkiksi jyrkässä, pitkässä nousussa raskaan yhdistelmän nopeus putoaa ryömintävauhtiin, kun taas vastaavuuskertoimen avulla laskettu määrä henkilöautoja pystyy ajamaan jyrkänkin nousun menettämättä juurikaan nopeuttaan. Esimerkiksi simuloinneissa liikennevirran todellinen ajoneuvokoostumus voidaan kuitenkin säilyttää. (Marlina 2012.)

### 3.2 Nopeudet

Eräs tien liikennöitävyysominaisuus on keskimääräinen matkanopeus, joka saadaan jakamalla tieosan pituus ajoneuvojen keskimääräisellä matka-ajalla. Yhtenä ajoneuvojen nopeuksiin vaikuttavana tekijänä pidetään raskaiden ajoneuvojen osuutta liikennemäärästä. Raskaat ajoneuvot yleensä laskevat liikenteen keskimääräisiä nopeuksia, mutta vaikutuksen suuruus riippuu useista tekijöistä, joita ovat muun muassa raskaiden ajoneuvojen ja muun liikenteen määrä, raskaiden ajoneuvojen ja muiden ajoneuvojen tavoitenopeudet, mäkyisyys, raskaiden ajoneuvojen saavutettavissa oleva nopeus sekä ohitusmahdollisuuksien määrä. Kuljettajien tavoitenopeuksiin vaikuttavat muun muassa nopeusrajoitukset, tiegeometria, sääolosuhteet, matkaan ja sen tarkoitukseen liittyvät tekijät, ajoneuvon ominaisuudet, kuljettajan ominaisuudet sekä yleiset olosuhteet liikenteessä. (McLean 1989.) Ajoneuvojen saavutettavissa olevaan nopeuteen puolestaan vaikuttavat muun muassa tieolosuhteet ja auton tehopainosuhde, jolla tarkoitetaan ajoneuvon moottorin tehon suhdetta ajoneuvon kokonaispainoon. Tehopainosuhde riippuu siten ajoneuvon kuormausasteesta. Raskaiden ajoneuvojen saavutettavissa oleva nopeus on yleensä alhaisempi kuin henkilöautoilla, sillä niiden tehopainosuhde on heikompi. (Lehtonen 2008.) Ryömintänopeudeksi kutsuttu suurin nopeus, jonka raskas ajoneuvo pystyy ylläpitämään nousussa, riippuu nousun jyrkkyydestä ja auton tehopainosuhteesta. Tiekohtaisten nopeusrajoitusten lisäksi joillekin ajoneuvotyypeille on määritetty suurimpia ajoneuvokohtaisia nopeusrajoituksia. Kuorma-autojen ajoneuvokohtainen nopeusrajoitus on Suomessa 80 km/h, ja nopeus on yleensä teknisesti rajoitettu enintään noin 90 kilometriin tunnissa. (Jakonen 1991.) Myös peräkärryllisten henkilö- ja pakettiautojen ajoneuvokohtainen nopeusrajoitus on 80 km/h. Linja-autojen ajoneuvokohtainen suurin sallittu nopeus on 80 tai 100 km/h riippuen auton ominaisuuksista. (Finlex 1992.)

Yksittäisten ajoneuvojen nopeudet ovat merkittäviä, sillä niistä muodostuu liikennevirran nopeusjakauma. Nopeusjakauma puolestaan vaikuttaa esimerkiksi jonoutumiseen ja ohitusten esiintymistiheyteen. Koska ajoneuvojen nopeudet liikennevirrassa vaihtelevat erisuuruisista tavoitenopeuksista ja saavutettavissa olevista nopeuksista johtuen, saavuttavat nopeammin ajavat ajoneuvot hitaampia. Tällöin syntyy ohitustarve, joka voidaan tilanteen salliessa purkaa ohittamalla edellä ajoneuvo välittömästi. Mikäli ohittaminen välittömästi ei ole mahdollista, on hitaamman ajoneuvon saavuttaneen ajoneuvon jäätävä tämän taakse odottamaan sopivaa ohitustilaisuutta. Hitaamman ajoneuvon takana jonottavan ajoneuvon nopeus laskee kuljettajan tavoitenopeutta alhaisemmaksi, mikä puolestaan vaikuttaa liikennevirran nopeusjakaumaan. Nopeusjakauman muututtua myös liikennevirrassa esiintyvän ohitustarpeen suuruus muuttuu edelleen. (Luttinen 2001, Kallberg

1980.) Wardrop (1952) on esittänyt teoreettisen ohitustarpeen laskemiseksi yleisesti käytetyn kaavan:

$$N = \frac{q^2 \sigma_s}{\bar{v}_s \sqrt{\pi}} \quad (3.1)$$

missä  $\bar{v}_s$  = matkajakauman keskinopeus (km/h)

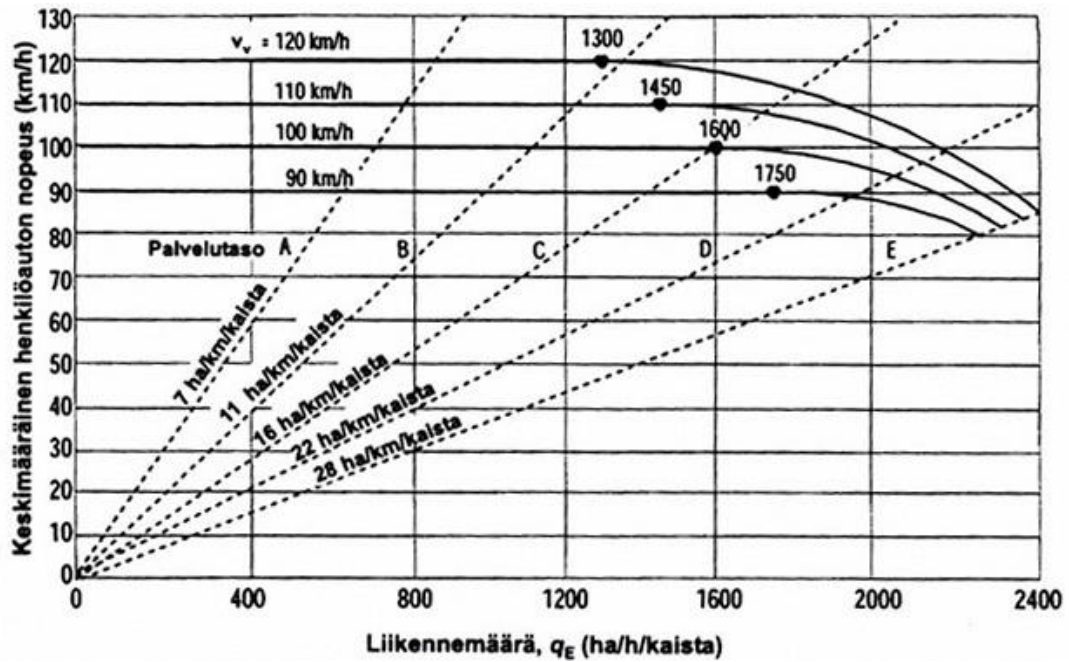
$\sigma_s$  = matkajakauman keskihajonta (km/h)

$q$  = tutkitun suunnan liikennemäärä (ajon/h).

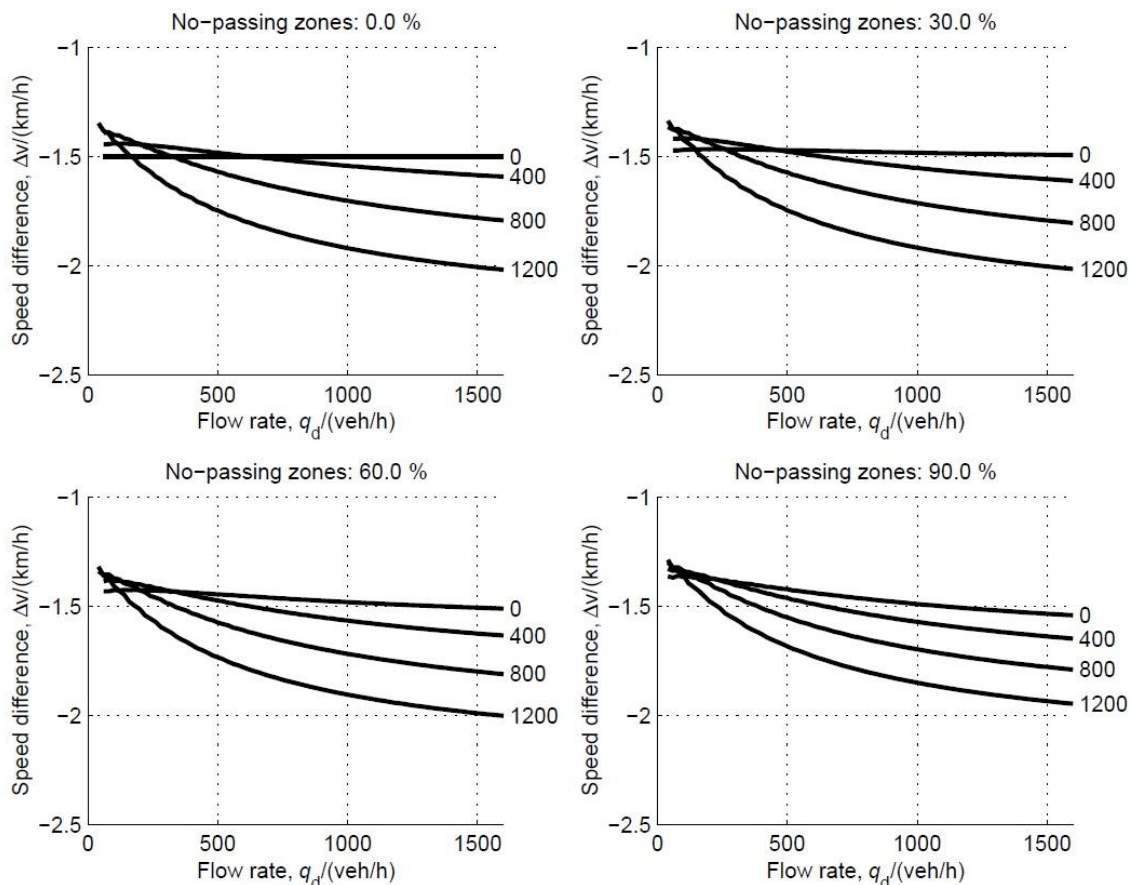
Kaavasta nähdään, että ohitustarve on suoraan verrannollinen matkajakauman keskihajontaan: mitä homogeenisempi nopeusjakauma on, sitä pienempi on teoreettisesti laskettu ohitustarve. Kaavan 3.1 oletuksina on, että ajoneuvojen tavoitenopeudet ovat normaalijakautuneita ja että kaikki ohitukset suoritetaan välittömästi. Se ei siis kuvaa täysin realistisesti todellista tilannetta, jossa ohittaminen ei aina ole mahdollista ja jossa osa kuljettajista ei välttämättä edes pyri ohittamaan hitaammin ajavaa ajoneuvoa. (Luttinen 2001.)

Ajoneuvojen nopeudet puolestaan riippuvat muun muassa tien kokonaisliikennemäärästä. Mitä enemmän tiellä on liikennettä, sitä enemmän muut ajoneuvot vaikuttavat yksittäisen ajoneuvon nopeuteen. Liikennemäärän vaikutusta henkilöautojen keskinopeuksiin moottoriteillä on kuvattu kuvassa 3.1. Liikennemäärän vaikutus korostuu geometrialtaan huonommilla teillä, joilla myös raskas liikenne vaikuttaa nopeuksiin geometrialtaan parempia väyliä enemmän. (Pesu 1996.) McLeanin (1989) mukaan raskaiden ajoneuvojen vaikutus on suurin, kun liikennemäärät ovat kohtalaisia, tien tarjoamat ohitusmahdollisuudet vähäisiä ja tien pituuskaltevuudet suuria. Raskaat ajoneuvot vaikuttavat muiden ajoneuvojen nopeuksiin vähemmän, kun liikennemäärät ovat pieniä ja tie tarjoaa ohitusmahdollisuuksia tiheästi. Tällöin nopeammat ajoneuvot saavuttavat hitaampia ajoneuvoja harvoin ja raskaiden ajoneuvojen aiheuttamat viivytykset ovat pieniä. Kun liikennemäärät ovat lähellä tien välityskykyä, raskaiden ajoneuvojen vaikutus muiden ajoneuvojen nopeuksiin riippuu tien mäkisyydestä. Mäkisellä tiellä, jolla ei ole runsaasti ohitusmahdollisuuksia, raskaat ajoneuvot hidastavat muita ajoneuvoja merkittävästi. Tasaisella tieosuudella raskaiden ajoneuvojen vaikutus muiden ajoneuvojen nopeuksiin on sen sijaan pieni, sillä ajoneuvojen nopeudet hidastuvat joka tapauksessa. Kuva 3.2 esittää raskaiden ajoneuvojen vaikutusta liikennevirran keskimääräiseen matkanopeuteen kaksikaistaisilla teillä erisuuruksilla vastaantulevan liikenteen määrällä. Kuva havainnollistaa myös, miten ohituskieltoalueiden määrä vaikuttaa raskaiden ajoneuvojen aiheuttamaan keskimääräisen matkanopeuden alenemaan. Neljä eri kuvaajaa kuvaa tilanteita, joissa ohituskieltoalueita on 0 %, 30 %, 60 % ja 90 % tien kokonaispituudesta. (Luttinen 2001.)

Liikennemäärän ja ohituskieltoalueiden määrän lisäksi myös nopeusrajoitus vaikuttaa siihen, kuinka merkittävästi raskaat ajoneuvot vaikuttavat muiden ajoneuvojen nopeuksiin. Tätä on esitetty kuvassa 3.3, joka kuvaa, millainen vaikutus erisuuruksilla raskaiden ajoneuvojen suhteellisilla osuuksilla on henkilöautojen keskinopeuksiin nopeusrajoitusalueilla 80 km/h ja 100 km/h. Kuvasta nähdään, että raskaiden ajoneuvojen vaikutus henkilöautojen keskinopeuteen on suurempi, kun nopeusrajoitus on 100 km/h. Lisäksi kuvasta nähdään, että henkilöautojen keskinopeudet laskevat sitä enemmän, mitä suurempi raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus on. (Luttinen 2001.)

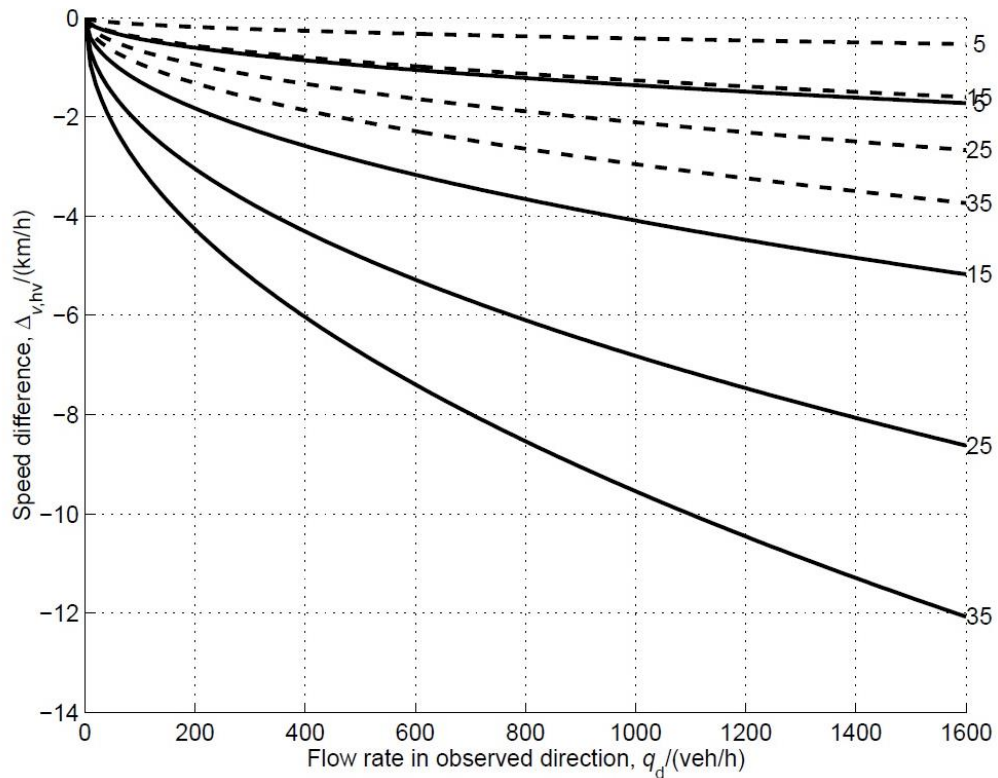


Kuva 3.1. Kaistakohtaisen liikennemäärän vaikutus henkilöautojen keskinopeuksiin moottoriteillä erisuuruisilla vapaan virran nopeuksilla. (Luttinen et al. 2005.)



Kuva 3.2. Liikennevirran keskimääräisen matkanopeuden muutos, kun raskaita ajoneuvoja on 15 prosenttia kaksikaistaisen tien liikennemäärästä. Neljä eri kuvaajaa kuvaa tilanteita, joissa ohituskieltoalueita on 0 %, 30 %, 60 % ja 90 % tien kokonaispituudesta. Kuvaajien pystyakselit kuvaavat keskimääräisen matkanopeuden muutosta, vaaka-akselit tarkasteltavan suunnan liikennemäärää ja käyrien yhteydessä ilmoitetut luvut vastakkaisen suunnan liikennemäärää. Ohituksien on oletettu tapahtuvan heti, kun niiden suorittaminen on mahdollista. (Luttinen 2001.)





Kuva 3.3. Raskaiden ajoneuvojen suhteellisen osuuden vaikutus henkilöautojen keskinopeuksiin nopeusrajoitusalueilla 80 km/h (katkoviivalla piirretyt käyrät) ja 100 km/h (yhtenäisellä viivalla piirretyt käyrät). Vaaka-akseli kuvaa tarkasteltavan suunnan liikennemäärää ja pystyakseli henkilöautojen keskinopeuden muutosta. Käyrien yhteydessä oleva luku ilmaisee, kuinka suuri prosenttiosuus liikennemäärästä on raskaita ajoneuvoja. (Luttinen 2001.)

Myös Suomessa on tehty tutkimuksia raskaiden ajoneuvojen vaikutuksesta liikennevirran nopeuksiin. Tutkijat ovat saaneet osittain toisistaan poikkeavia tuloksia. Sekä Torkkeli (1996) että Pesu (1996) tutkivat opinnäyte- ja diplomitöissään liikenteen automaattisten mittauspisteiden tuottamien tietojen avulla raskaan liikenteen määrän vaikutusta ajoneuvojen keskinopeuksiin. Tutkimuksissa verrattiin tietoja Kaakkois-Suomen teiltä, joilla raskaan liikenteen suhteellinen osuus oli suuri, sekä vertailukohteista, joissa raskasta liikennettä oli selvästi vähemmän. Vertailtujen teiden kokonaisliikennemäärät ja geometria vastasivat toisiaan ja teiden nopeusrajoitukset olivat yhtä suuria. Torkkelin mukaan teillä, joilla raskaan liikenteen osuus oli suuri, keskinopeudet olivat 0,84 km/h matalampia kuin vertailukohteissa. Raskaiden ajoneuvojen suhteellisen osuuden kasvulla todettiin olevan merkittävä vaikutus ajoneuvojen keskinopeuksiin. Torkkelin tutkimuksen mukaan raskaan liikenteen määrän kasvu ei kuitenkaan lisännyt nopeuksien keskihajontaa. Pesu ei puolestaan havainnut tutkimuksessaan raskaiden ajoneuvojen määrän kasvun laskevan ajoneuvojen keskinopeuksia merkittävästi. Tutkimuksessa tosin todettiin, etteivät LAM-pisteiden tuottamat tiedot välttämättä tuo esille raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia ajoneuksiin kokonaisvaltaisesti, koska tiedot ovat pistekohtaisia. Lisäksi LAM-pisteet on yleensä sijoitettu pituusleikkauksiltaan tasaisiin ja poikkileikkauksiltaan suoriin tienkotiin, joten esimerkiksi mäissä liikennevirtaa kuvaavien suureiden arvot saattavat poiketa merkittävästi LAM-pisteiden mittaamista arvoista. Lehtonen (2008) puolestaan havaitsi diplomityössään, että raskaan liikenteen vaikutus ajonopeuksiin on huomattava, kun raskaan liikenteen suhteellinen osuus liikennemäärästä ylittää 20 prosenttia. Tätä pienemmillä raskaan liikenteen osuuksilla ensisijaisesti tien kokonaisliikennemäärä vaikuttaa ajoneuvojen nopeuksiin.

Vaikka tutkimuksissa raskaiden ajoneuvojen vaikutuksesta ajoneuvojen keskinopeuksiin on saatu osittain toisistaan poikkeavia tuloksia, ovat tutkimukset olleet yksimielisiä siitä, että tien kokonaisliikennemäärä on ensisijainen keskimääräisiin nopeuksiin vaikuttava tekijä. Tutkimusten perusteella näyttää siltä, että myös raskaiden ajoneuvojen määrä vaikuttaa muiden ajoneuvojen nopeuksiin, mutta vaikutuksen suuruus riippuu muista samanaikaisesti vaikuttavista tekijöistä. Tämän tutkimuksen eräänä tarkoituksena on vertailla HCT-ajoneuvoyhdistelmien ja verrokkiyhdistelmien keskinopeuksia sekä nopeuden muutoksia esimerkiksi mäkisillä tieosuuksilla. Tulosten avulla voidaan muun muassa päätellä HCT-ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirrassa esiintyvään nopeushajontaan. Mitä enemmän ajoneuvojen nopeuksissa esiintyy hajontaa, sitä suurempi on liikennevirrassa esiintyvä ohitustarve. Mikäli ohitustarve ylittää ohitusmahdollisuuksien tarjonnan, syntyy liikennevirtaan jonoja. Jonoutumista ja ohittamista sekä raskaiden ajoneuvojen vaikutusta niihin on käsitelty tarkemmin seuraavissa aliluvuissa.

### 3.3 Jonoutuminen

Jononmuodostusta tapahtuu, mikäli liikennevirran ajoneuvoilla on erisuuruiset tavoite-nopeudet, mutta hitaamman ajoneuvon ohittaminen ei ole näkemää rajoittavien maastoesteiden tai vastaantulevan liikenteen vuoksi mahdollista. Ajoneuvon katsotaan olevan jonossa, kun edellä ajavan ajoneuvon nopeus vaikuttaa sen nopeuteen. Jonossa ajavan kuljettajan nopeus on siis alhaisempi kuin kuljettajan tavoite-nopeus. Jonossa ajaminen määritetään liikennetekniikassa jonokriteerin avulla. Jonokriteerinä käytetään peräkkäisten ajoneuvojen välistä bruttoaikaväliä (esimerkiksi  $<3$  s tai  $<5$  s). Lisäehtona voidaan käyttää lisäksi nopeuseroa (esimerkiksi  $< 15$  km/h). Highway Capacity Manualissa jononmuodostuksen seurauksena tapahtuva seuranta-aikaosuus on määritelty kaksikaistaisen tien palvelutasomittareista tärkeimmäksi. Seuranta-aikaosuudella tarkoitetaan sitä keskimääräistä osuutta kokonaismatka-ajasta, jonka ajoneuvot joutuvat ajamaan hitaampien ajoneuvojen takana jonossa. (Pesu 1996.) Seuranta-aikaosuuden mittaaminen on kuitenkin työlästä, joten sen korvaavana mittarina käytetään usein jonoprosenttia, eli sitä, kuinka suuri osuus liikennevirran ajoneuvoista ajaa jonossa. Jonoprosenttia määritettäessä mitataan ajoneuvojen aikavälejä jossakin tiejakson keskimääräisiä olosuhteita mahdollisimman hyvin kuvaavassa pisteessä ja jonossa oleviksi ajoneuvoiksi määritellään ajoneuvot, joiden välinen aikaväli on esimerkiksi korkeintaan kolme sekuntia. Jonoprosentti voidaan laskea myös teoreettisesti, jolloin tarvitaan tietoa tien suunnittaisesta liikennemäärästä, raskaiden ajoneuvojen määrästä, tien poikkileikkauksesta ja nopeusrajoituksesta sekä ohituskieltoalueiden suhteellisesta osuudesta. Teoreettisesti laskettaessa raskaan liikenteen määrän katsotaan vaikuttavan jonoprosenttiin vain alueilla, joilla nopeusrajoitus on 100 km/h. Suomalaisten ohjeiden mukaan jonoprosentti voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$P_J = 100 \left[ 1 - \exp\left(b_1 \frac{q}{3600} + b_2 \sqrt{\frac{q_o}{3600}} + f_{J,R}\right) \right] - f_{lk} \quad (3.2)$$

missä  $q$  = tarkastelusuunnan liikennemäärä (ajon/h),

$q_o$  = vastakkaisen suunnan liikennemäärä (ajon/h),

$f_{J,R}$  = raskaan liikenteen määrästä riippuva korjauskerroin (käytetään, kun tien nopeusrajoitus on 100 km/h),

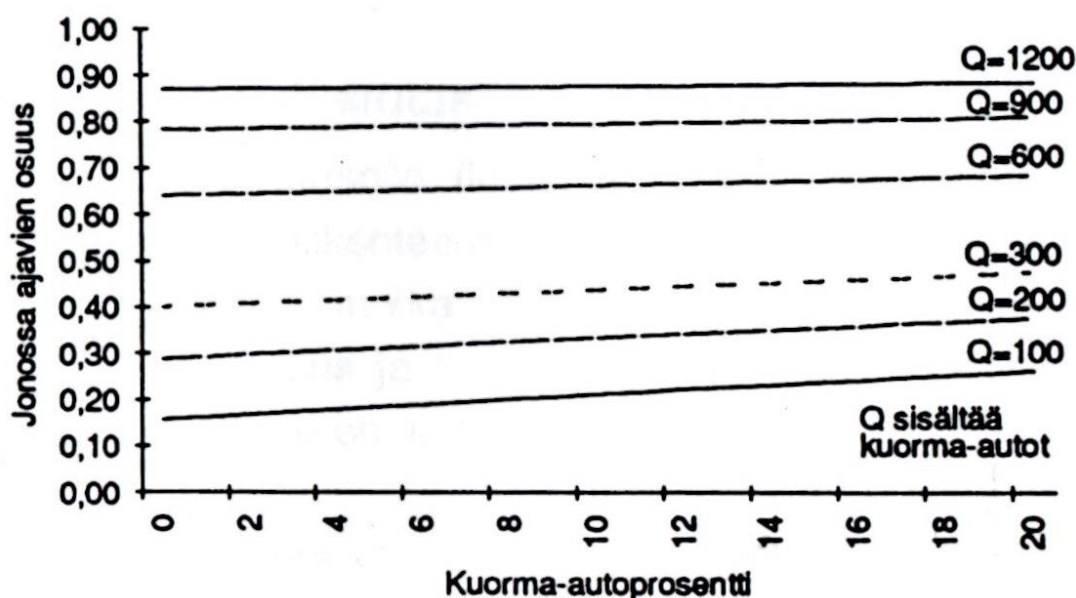
$f_{lk}$  = leveäkaistateillä käytettävä korjauskerroin,

$b_1$  = nopeusrajoituksesta ja ohituskieltoalueiden määrästä riippuva parametri sekä

$b_2$  = piennarleveydestä riippuva parametri. (Luttinen et al. 2005.)

Raskaiden ajoneuvojen vaikutusta jonoutumiseen on tutkittu myös empiirisin tutkimuksin niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että kuorma-autoista tulee jononjohtajia arkiliikenteessä 2,0 kertaa ja vapaa-ajanliikenteessä 1,35 kertaa todennäköisemmin kuin henkilöautoista (Jakonen 1991). Myös Enberg (1988) on saanut tutkimuksissaan vastaavan suuntaisia tuloksia: raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus jononjohtajista todettiin suuremmaksi kuin raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus liikennemäärästä. Ajoneuvoyhdistelmien osuus jononjohtajista todettiin suhteellisesti suurimmaksi.

Tutkimuksissa on havaittu, että raskaan ajoneuvojen osuus liikennemäärästä ei yksin selitä jononmuodostumista. Hollannissa tehdyn tutkimuksen mukaan pääsuunnan liikennemäärän ja kuorma-autojen suhteellisen osuuden yhteisvaikutus selittää jononmuodostusta parhaiten. Kyseisen tutkimuksen mukaan kuorma-autojen suhteellinen osuus liikennemäärästä vaikuttaa jonossa ajavien ajoneuvojen määrään sitä enemmän, mitä pienempi on kokonaisliikennemäärä. Kuorma-autojen suhteellisen osuuden vaikutusta jonossa ajavien ajoneuvojen suhteelliseen määrään erisuuruksilla pääsuunnan liikennemäärillä on kuvattu kuvassa 3.4. (Botma 1986.)



Kuva 3.4. Hollantilaisessa tutkimuksessa (Botma 1986) saatua regressiomallia havainnollistava kuvaaja, joka kuvaa kuorma-autojen suhteellisen osuuden vaikutusta jonossa ajavien ajoneuvojen määrään erisuuruksilla pääsuunnan liikennemäärillä. (Jakonen 1991.)

1990-luvulla ja sen jälkeen tehdyissä suomalaisissa tutkimuksissa raskaiden ajoneuvojen määrän vaikutuksesta jononmuodostukseen ei ole saatu yhteneviä tuloksia. Torkkelin (1996) mukaan raskasta liikennettä voidaan pitää osatekijänä jononmuodostukseen, mutta selvää syy-seuraussuhdetta ei voida löytää. Pesu (1996) puolestaan totesi tutkimuksessaan, että kasvava liikennemäärä lisää jononmuodostusta lineaarisesti, mutta kasvava raskaan liikenteen määrä lisää jononmuodostusta edelleen. Toisaalta Tiehallinnon (2006) simulointitutkimuksessa todettiin, että mikäli raskaan liikenteen suhteellinen osuus kasvaa erityisen suureksi (yli 50 %), jononmuodostus vähenee, sillä ajoneuvojen nopeushajonta pienenee eivätkä suuremman tavoitenopeuden omaavat kuljettajat enää aktiivisesti pyri ohittamaan hitaammin ajavia. Lehtonen (2008) pyrki tutkimuksessaan minimoimaan väylä- ja ympäristötekijöiden vaikutukset tutkimustuloksiin ja havaitsi, että raskaan liikenteen määrä vaikuttaa jonoutumiseen, vaikkakin tien kokonaisliikennemäärä on edelleen merkittävin jonoutumiseen vaikuttava tekijä. Lehtonen havaitsi tutkimuksessaan

Tiehallinnon tutkimuksen kanssa yhtenevästi, että normaalia suuremmalla raskaan liikenteen osuudella jonoprosentti laskee ajoneuvojen nopeushajonnan pienetessä. Tutkimukset ovat siis yksimielisiä siitä, että tien kokonaisliikennemäärällä on merkittävin vaikutus myös jononmuodostukseen.

Tämän tutkimuksen eräänä tavoitteena on tutkia, vaikuttavatko tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä pidemmät HCT-ajoneuvoyhdistelmät eri tavalla jononmuodostukseen kuin normaalikokoiset ajoneuvoyhdistelmät. On mahdollista, että normaalipituisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna useammat ”pitkä kuljetus” -kyltistä tunnistettavan HCT-ajoneuvoyhdistelmän saavuttavien ajoneuvojen kuljettajat päättävät olla ohittamatta tavallista pidempää ajoneuvoyhdistelmää, mikä lisää jonoutumista. Koska tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen riittäviä tilaisuuksia saattaa esiintyä harvemmin, voivat HCT-ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ajatut matkat olla pidempiä kuin normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien takana ajatut matkat. Toisaalta on muistettava, että HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrää lisäämällä on mahdollista vähentää tiellä liikkuvien raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää, mikä edelleen vaikuttaa tiellä esiintyvään jononmuodostukseen ja nopeampien ajoneuvojen kokemaan viivytykseen. Työssä saatuja tuloksia onkin mahdollista käyttää hyväksi, kun tutkitaan, miten HCT-ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvu vaikuttaisi jonoutumiseen koko liikennevirran tasolla.

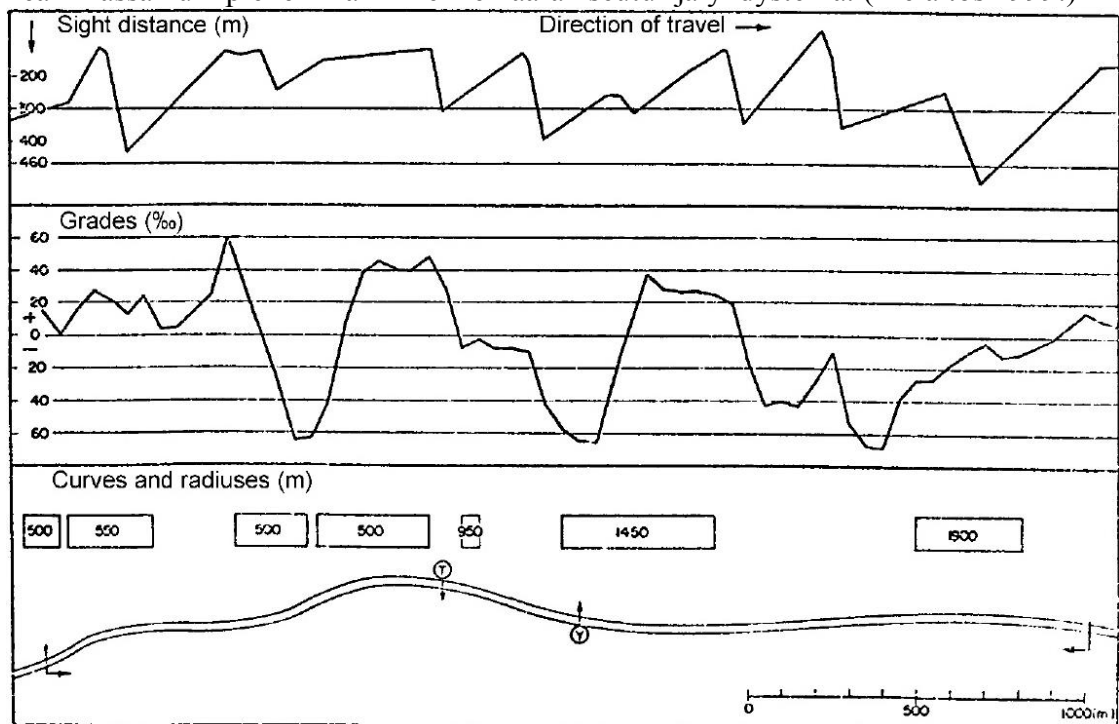
### 3.4 Ohittaminen

Kuten edellisissä aliluvuissa todettiin, ohitustarve syntyy, kun nopeammin ajavat ajoneuvot saavuttavat hitaampia. Raskaan liikenteen määrä vaikuttaa ohitustarpeeseen, sillä raskaiden ajoneuvojen nopeudet ovat usein erityisesti korkeamman nopeusrajoituksen omaavilla tieosuuksilla matalampia kuin henkilöautojen kuljettajien tavoitenopeudet. Raskaiden ajoneuvojen ohittaminen kaksikaistaisilla teillä on haasteellisempaa kuin henkilöautojen ohittaminen, sillä suuren kokonsa vuoksi kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät rajoittavat ohittajan näkemää, mikä puolestaan vaikeuttaa ohitukseen käytettävissä olevan tieosan pituuden arvioimista. (McLean 1989.) Lisäksi ajoneuvon pituus vaikuttaa vaadittuun ohitusmatkaan: mitä pidempi ohitettava ajoneuvo on, sitä enemmän aikaa ja sitä pidempi vapaa tiealue ohitukseen tarvitaan. Esimerkiksi Troutbeckin (1981) tutkimuksen mukaan 16 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen vaatii 18 % enemmän aikaa 5 metriä pitkän henkilöauton ohittamiseen verrattuna, kun taas 20 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen vaaditaan 5 % enemmän aikaa 16-metrisen ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen verrattuna. Toisaalta raskaiden ajoneuvojen henkilöautoja matalampi nopeus kasvattaa ohittajan ja ohitettavan välistä nopeuseroa ja täten lyhentää ohitukseen kuluva aikaa (Luttinen 2001).

Ohitus voidaan määritellä joko aktiiviseksi tai passiiviseksi ohitukseksi riippuen siitä, kenen näkökulmasta tapahtumaa tarkastellaan. Ohitukset ovat aktiivisia ohituksia ohittajan kannalta ja passiivisia ohituksia ohitettavan kannalta; aktiivisten ja passiivisten ohitusten määrä liikennevirrassa on siis yhtä suuri. (Luttinen et al. 2005.) McLean (1989) on lisäksi esittänyt viisi perusominaisuutta, joiden avulla ohituksia voidaan luokitella. Perusominaisuuksia ovat ohitettavan ajoneuvon tyyppi (kevyt/raskas), ohitettavan ajoneuvon nopeus, ohittavan ajoneuvon tyyppi (kevyt/raskas), ohituksen tyyppi (kiihdytys-/lentävä ohitus) sekä ohitusolosuhteet (näkemä ja sääolosuhteet). Yksi ohituspäätökseen vaikuttava tekijä on siis ohitettavan ajoneuvon tyyppi. Henkilöautoja matalamman nopeuden lisäksi raskailla ajoneuvoilla on muitakin ominaisuuksia, joiden vuoksi henkilöautojen kuljettajat pyrkivät ohittamaan niitä. Andersson et al. (2011) mainitsevat alhaisemman nopeuden lisäksi kolme muuta syytä raskaiden ajoneuvojen ohittamiselle. Ensimmäinen tekijä on

mukavuudenhalu: raskaan ajoneuvon takana ajaminen rajoittaa näkyvyyttä ja lisäksi huonolla säällä edellyttää hyvin toimivaa tuulilasinpuhdistuslaitteistoa ja säännöllistä tuulilasin puhdistamista. Toisena syynä tutkijat mainitsevat turvallisuustekijät, joilla he tarkoittavat sitä, että raskaan ajoneuvon perässä ajaminen vaikuttaa opasteiden ja tiemerkin-  
töjen havaitsemiseen, mikä saattaa vähentää päätöksentekoaikaa erilaisissa liikennetilanteissa. Kolmantena ohituksiin houkuttelevana tekijänä mainitaan raskaan ajoneuvon perään muodostuneessa jonossa ajamisen epämukavuus.

Kun ohitustarve on syntynyt, tulee hitaamman ajoneuvon saavuttaneen kuljettajan kohdata ohitusmahdollisuus, jotta tarve voidaan täyttää. Ohitusmahdollisuuksien määrä kaksikaistaisilla teillä riippuu tien ominaisuuksista sekä vastaantulevan liikenteen määrästä. Tien tulee tarjota tarpeeksi pitkä näkemä, jotta ohittamaan pyrkivä voi arvioida, onko ohittaminen näkyvällä tienosalla mahdollista. Näkemäksi kutsutaan sitä ajorataa pitkin mitattua matkaa, jonka etäisyydellä olevan esteen ajoneuvon kuljettaja voi esteettä nähdä (Ristikartano et al. 2012). Näkemäpituuden suuruuteen vaikuttavat tien linjaus eli tien vaakasuuntainen geometria, tien tasausviiva eli tien pystysuuntainen geometria sekä tien läheisyydessä sijaitsevat näkemäesteet kuten puusto ja rakennukset. Näkemäesteen, kuten mäenharjanteen tai mutkan jälkeen näkemäpituus saavuttaa paikallisen maksimiarvonsa, jonka jälkeen näkemäpituuden arvo laskee lineaarisesti kohti seuraavaa paikallista minimiarvoa. (Luttinen 2001.) Tiegeometrian vaikutusta näkemäpituuteen on kuvattu kuvassa 3.5. Tien suunnittelulla voidaan vaikuttaa siihen, että tie tarjoaa ohitukseen riittäviä näkemiä riittävän usein. Ohitusnäkemäksi kutsutaan matkaa, jonka etäisyydelle kuljettajan on esteettömästi nähtävä voidakseen ohittaa edellä ajavan ajoneuvon turvallisesti niin, ettei vastaantulevan ajoneuvon tarvitse hidastaa nopeuttaan (Lehtinen 1999). Ohitusmatkat ovat sitä pidempiä, mitä suuremmalla nopeudella ohitettava ajoneuvo ajaa, joten suuremman nopeustason teiden mitoitusohjenäkemäpituuden vähimmäisarvo on suurempi kuin matalamman nopeustason teillä. Toisaalta tien liikennemäärä vaikuttaa siihen, kuinka tiheästi ohitusnäkemiä tulee tarjota: suuremman liikennemäärän valta- ja kanta-teillä vähintään ohitusnäkemäpituuden vähimmäisarvon suuruisia näkemiä tulee olla tiheämmässä kuin pienemmän liikennemäärän seutu- ja yhdysteillä. (Tielaitos 1999.)



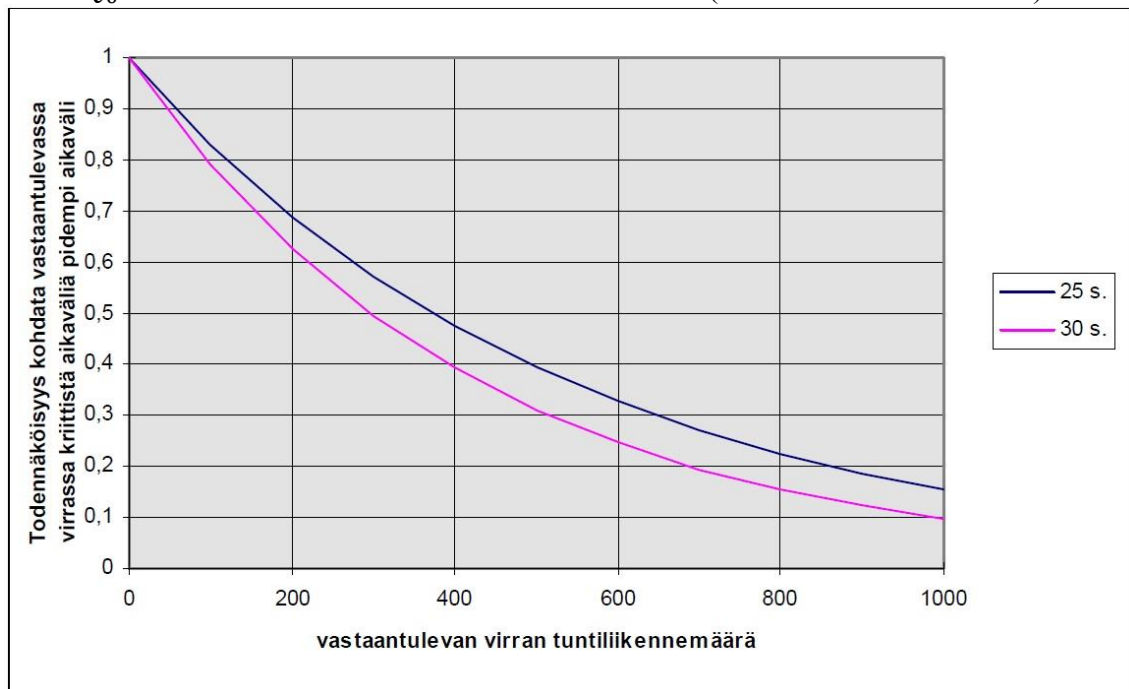
Kuva 3.5. Tien pysty- ja vaakasuuntaisen geometrian vaikutus tien tarjoamiin näkemiin. (Roine 1972.)

Vaikka tien ominaisuudet tarjoaisivatkin mahdollisuuden ohittamiseen, saattaa vastaan-tuleva liikenne estää ohittamisen. Vastaantulevassa liikennevirrassa tulee olla tarpeeksi pitkä väli, jotta ohitus on mahdollista suorittaa turvallisesti. Esimerkiksi Morrall ja Werner (1984) ovat tutkineet vastaantulevan liikennevirran suuruuden vaikutusta ohitusmahdollisuuksien esiintymistiheyteen kaksikaistaisilla teillä. He määrittivät havaintoihinsa perustuen, että vastaantulevassa liikennevirrassa tulee olla vähintään 30 sekunnin suurui-nen väli, jotta keskimääräinen kuljettaja lähtee ohitukseen. Lisäksi he olettivat, että vas-taantulevien ajoneuvojen saapumisen jakauma noudattaa eksponentiaali-jakaumaa. Näihin oletuksiin perustuen he muodostivat teoreettisen mallin, joka esittää yli 30 sekunnin mit-taisten aikavälien esiintymistodennäköisyyden ja vastaantulevan virran liikennemäärän välistä riippuvuutta kaavan 3.3 mukaisesti. He esittivät vastaavan mallin myös yli 25 se-kunnin mittaisten aikavälien esiintymistodennäköisyyden ja vastaantulevan liikennemää-rän väliselle riippuvuudelle kaavan 3.4 mukaisesti. Kuvassa 3.6 on esitetty kaavojen 3.3 ja 3.4 mukaisten teoreettisten mallien graafinen kuvaus.

$$P(g > 30) = e^{-0,00234Q_0} \quad (3.3)$$

$$P(g > 25) = e^{-0,0018626Q_0} \quad (3.4)$$

missä  $Q_0$  on vastaantulevan virran tuntiliikennemäärä. (Morrall & Werner 1984.)



Kuva 3.6. Vastaantulevan virran tuntiliikennemäärän vaikutus vähintään 25 ja 30 sekun-tia pitkien aikavälien esiintymistodennäköisyyteen. (Lehtinen 1999.)

Kuvasta 3.6 nähdään, että vastaantulevan liikenteen määrän kasvaminen luonnollisesti vähentää ohitukseen vaadittavien aikavälien esiintymistodennäköisyyttä. On kuitenkin huomattava, että kaavojen 3.3 ja 3.4 luotettavuus riippuu tarkasteltavan tiestön ominai-suuksista, sillä niillä on vaikutusta kaavoissa käytettyihin kertoimiin. Mikäli tien geomet-ria tarjoamia ohituspaikkoja on tiheästi, on ajoneuvojen aikavälijakauma satunnaisempi, sillä hitaampien ajoneuvojen eteen muodostuu tällöin vähemmän pitkiä aikavälejä. Täl-löin vastakkaiseen suuntaan ajavat ajoneuvot kohtaavat vähemmän ohituksen mahdollis-tavia välejä vastaantulevassa liikennevirrassa. Mikäli tien geometria puolestaan tarjoaa

vain vähän ohituspaikkoja, kohtaavat ajoneuvot useammin pitkiä aikavälejä. (Lehtinen 1999.)

Ohituspäätösten tekeminen on haastavimpia tehtäviä, joita ajoneuvojen kuljettajat normaalissa liikenteessä toistuvasti kohtaavat. Ohituspäätöstä tehtäessä on arvioitava, onko vastaantulevan liikenteen kaista vapaa riittävän pitkältä matkalta ja voiko ohittaja ohituksen jälkeen palata turvallisesti omalle kaistalleen. Arviointinsa perusteella kuljettajat tekevät joko positiivisen ohituspäätöksen eli lähtevät ohittamaan edellä ajavaa ajoneuvoa tai negatiivisen ohituspäätöksen eli jäävät ajamaan edellä ajavan ajoneuvon perässä. (Lehtinen 1999.) McLeanin (1989) mukaan kuljettajat eivät pysty arvioimaan etäisyyttä vastaantulevaan ajoneuvoon kovin tarkasti ja vastaantulevan ajoneuvon nopeuden arviointi on lähes mahdotonta. Kuljettajien hyväksymissä ohitusmahdollisuuksissa onkin merkittävää vaihtelua kuljettajien välillä. Vaihtelu johtuu muun muassa kuljettajien kokemuksesta, heidän käyttämiensä ajoneuvojen ominaisuuksista sekä matkoihin liittyvistä tekijöistä. Myös saman kuljettajan hyväksymissä ohitusmahdollisuuksissa esiintyy vaihtelua: lyhyellä matkalla saatetaan olla valmiita ajamaan hitaamman ajoneuvon perässä lähtemättä ohitukseen, ja huonolla säällä ohitukseen saatetaan vaatia pidempi aikaväli vastaantulevassa liikennevirrassa kuin hyvällä säällä. Lisäksi kuljettajan aiemmin suorittamien ohitusten määrä voi vaikuttaa hyväksytyjen ohitusaikavälien suuruuteen arviointikyvyn kehittyessä toistojen myötä. (McLean 1989.)

Kuljettajien hyväksymien ohitusmahdollisuuksien suuruutta voidaan mitata joko etäisyytenä tai aikavälinä. Edellistä määritettäessä mitataan, kuinka monta metriä oli ohittavan ajoneuvon ja seuraavan vastaantulevan ajoneuvon tai näkemää rajoittavan maastoesteen välinen etäisyys ohituksen alkaessa. Jälkimmäistä määritettäessä puolestaan mitataan, kuinka suuri oli se vastaantulevien ajoneuvojen välinen aikaväli, jonka aikana ohitus tapahtui. Osassa tutkimuksista kaikki ohitukset käsitellään yhtenä aineistona, kun taas joissakin tutkimuksista erotellaan ohitukset sen mukaan, rajoittiko ohittajan näkemää ohituksen alkaessa maastoeste vai vastaantuleva ajoneuvo. (McLean 1989.)

Mitattiinpa sitten aikavälejä tai etäisyyksiä, tutkimusten tavoitteena on usein selvittää, mikä on se kynnysarvo, jonka ylityttyä positiivinen ohituspäätös tehdään. Aikavälejä mitattaessa keskimääräistä kynnysarvoa kutsutaan kriittiseksi aikaväliksi. Kriittisen aikavälin määrittäminen on haasteellista, koska se ei ole suoraan mitattavissa oleva suure: ohittajan hyväksymän aikavälin pituus ei suoraan kerro sitä, kuinka suuri aikavälin pitää vähintään olla, jotta kyseinen kuljettaja tekee positiivisen ohituspäätöksen. Tarvitaankin tietoa myös kuljettajan hylkäämien aikavälien pituuksista, jotta kriittisen aikavälin suuruus voidaan arvioida. Kun oletetaan, että kuljettajat käyttäytyvät johdonmukaisesti, kriittisen ohitusaikavälin suuruus on heidän hyväksymänsä ja pisimmän hylkäämänsä aikavälin arvojen välissä. Tämän oletuksen mukaan kuljettajat hylkäävät johdonmukaisesti kriittistä aikaväliä pienemmät aikavälit ja hyväksyvät sitä suuremmat aikavälit. Todellisuudessa kuljettajien käytös ei useinkaan ole täysin johdonmukaista, vaan esimerkiksi pitkään jonotettuaan kuljettajat saattavat hyväksyä aikavälin, joka on lyhyempi kuin heidän aiemmin hylkäämänsä aikaväli. Lisäksi on huomattava, että eri kuljettajien kriittisten aikavälien suuruudessa on merkittävää vaihtelua. (McGowen & Stanley 2012.)

Kriittisen aikavälin arvioimiseksi voidaan käyttää useita menetelmiä, joita ovat muun muassa logistinen regressioanalyysi, Ruffin menetelmä sekä Troutbeckin tunnetuksi tekemä suurimman uskottavuuden menetelmä. Menetelmässä oletetaan, että kullakin kuljettajalla on pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli. Pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien oletetaan noudattavan log-normaalijakaumaa. Log-normaalijakaumalla voidaan kuvata

sellaisia satunnaismuuttujia, jotka eivät voida saada negatiivisia arvoja, mutta voivat saada miten suuria arvoja tahansa. Kriittisen aikavälin estimaatti saadaan pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien muodostaman jakauman odotusarvona. (McGowen & Stanley 2012.)

Merkitään yksittäisen ohittajan käyttäytymisestä tehtyjä havaintoja seuraavasti:

$r_d$  = pisin kuljettajan hylkäämä aikaväli (s)

$a_d$  = kuljettajan hyväksymä aikaväli (s).

Suurimman uskottavuuden menetelmässä lasketaan todennäköisyyttä sille, että kriittinen aikavälin  $t_c$  arvo on arvojen  $r_d$  ja  $a_d$  välissä. Todennäköisyyden arvioimiseksi tulee tehdä oletus pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien jakaumasta  $F_c(t)$ . Kuten edellä mainittiin, pienimpien hyväksyttävissä olevien aikavälien oletetaan noudattavan log-normaali-jakaumaa. Lisäksi oletuksena on, että kuljettajat käyttäytyvät johdonmukaisesti. Todennäköisyys sille, että yksittäisen kuljettajan pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli on arvojen  $r_d$  ja  $a_d$  välissä saadaan hyväksytyjen aikavälien jakaumaan ja hylättyjen aikavälien jakaumaan perustuvien todennäköisyyksien erotuksena  $F_a(a_d) - F_r(r_d)$ . Kun on kerätty aineisto, jossa on tietoa hyväksytyjen ja hylättyjen aikavälien suuruudesta  $n$  määrästä ohituksia, todennäköisyyttä  $L'$  sille, että on saatu kyseiset hyväksytyt ja suurimpia hylättyjä aikavälejä kuvaavat vektorit  $\{a_d\}$  ja  $\{r_d\}$  voidaan kuvata yksittäisten havaintojen todennäköisyyksien tulona:

$$L' = \prod_{d=1}^n (F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.5)$$

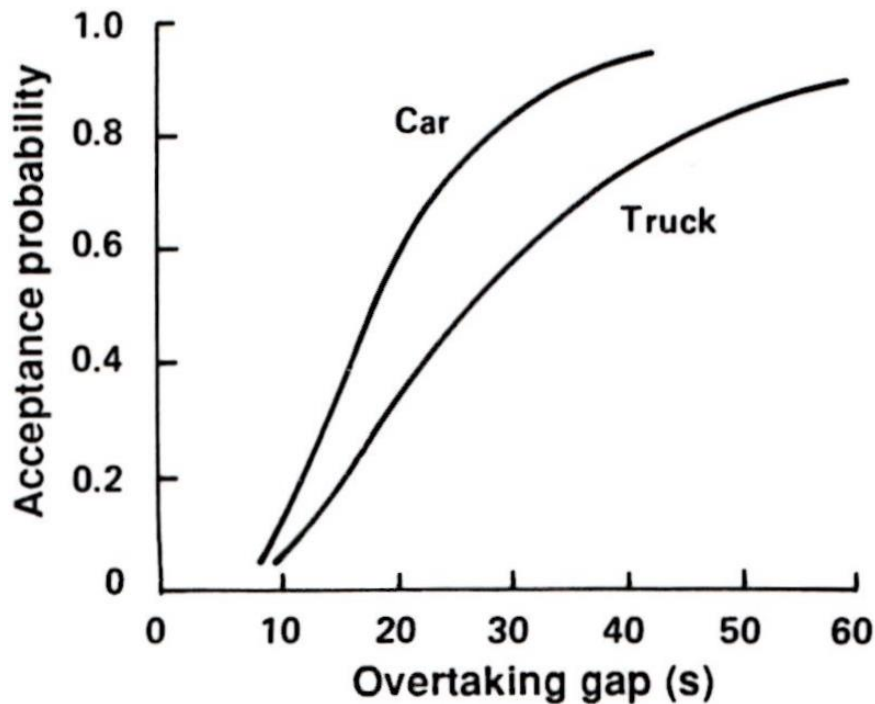
Todennäköisyyden  $L'$  logaritmi  $L$  saadaan puolestaan summaamalla yksittäisten todennäköisyyksien luonnollisten logaritmien arvoja:

$$L = \sum_{d=1}^n \ln(F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.6)$$

Koska todennäköisyyden  $L'$  maksimiarvo saavutetaan samassa pisteessä kuin sen logaritmin  $L$  maksimiarvo, suurimman uskottavuuden menetelmässä maksimoidaan logaritmia  $L$ . Kriittisen aikavälin jakauman keskiarvon  $\mu$  ja varianssin  $\sigma^2$  löytämiseksi osittaisderivoita voidaan logaritmia  $L$  kyseisten parametrien suhteen. Tällöin saadaan yhtälöpari, joka riippuu hyväksytyistä ja pisimmistä hylätyistä aikaväleistä muodostetuista vektoreista  $\{a_d\}$  ja  $\{r_d\}$ . Yhtälöparin yhtälöt voidaan ratkaista numeerisin menetelmin iteroimalla. Troutbeck on kehittänyt yhtälöiden ratkaisemiseksi ohjelman, jota myös tämän työn yhteydessä on käytetty. Ohjelma antaa tuloksena kriittisen aikavälin estimaatin, kun syötteenä ovat havaitut hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen ohitusaikavälien arvot. (Brilon et al. 1999.)

Vertaamalla kriittisten aikavälien suuruutta esimerkiksi henkilöautojen ja raskaiden ajoneuvojen ohituksissa voidaan arvioida sitä, miten ohitettavan ajoneuvon tyyppi vaikuttaa ohittamisen vaikeuteen eli siihen, kuinka pitkän vapaan tiealueen ohittajat keskimäärin vaativat tehdäkseen positiivisen ohituspäätöksen. Kuten kuvasta 3.7 nähdään, kuorma-autojen ohituksissa ohittajat vaativat keskimäärin pitempiä aikavälejä vastaantulevassa liikennevirrassa kuin henkilöautojen ohituksissa. McLeanin (1989) mukaan raskaiden ajoneuvojen ohittamiseksi vaaditut aikavälit ovat noin 30–65 % suurempia kuin henkilöautojen ohittamiseksi vaaditut aikavälit. Raskaiden ajoneuvojen ohittaminen on henkilöautojen ohittamista vaikeampaa niiden pituudesta ja suuresta estevaikutuksesta johtuen. (McLean 1989.)





Kuva 3.7. Aikavälin pituuden ja aikavälin hyväksymistodennäköisyyden välinen riippuvuus henkilöautojen ja kuorma-autojen ohituksissa. Esimerkiksi 30 sekunnin mittaisen aikavälin hyväksymisen todennäköisyys on kuvaajan mukaan henkilöautoa ohitettaessa noin 0,8 ja kuorma-autoa ohitettaessa noin 0,55. (McLean 1989.)

Eri ajoneuvotyyppien ohittamista voidaan vertailla kriittisen aikavälin lisäksi myös muita parametreja käyttämällä. Esimerkiksi ohitusten turvallisuustasoa voidaan verrata mittamalla turva-aikoja. Turva-ajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu ohituksen päättymisestä siihen, kunnes ohittaja kohtaa seuraavan vastaantulevan ajoneuvon. Hyvin lyhyiden ja negatiivisten turva-aikojen määrä kertoo vaaratilanteiden esiintymistodennäköisyydestä. Turva-aika on negatiivinen, mikäli ohittaja kohtaa seuraavan vastaantulevan ajoneuvon ennen ohituksen päättymistä. Turva-ajoista tehdyissä tutkimuksissa on todettu muun muassa että leveämmillä tiettyypeillä lyhyet turva-ajat ovat yleisempiä kuin kapeilla tiettyypeillä. Tyypillisiä ohituksiin liittyviä mitattavia parametreja ovat myös ohitusten kestot ja ohitusmatkojen pituudet sekä ohitusten aikana käytetyt nopeudet. Tutkimuksissa on muun muassa todettu, että yhdistelmäajoneuvoja ohitettaessa ohittajien nopeudet ovat yleensä suurempia kuin henkilöautoja ohitettaessa. Suurempi nopeusero ei kuitenkaan riitä täysin kompensoimaan yhdistelmäajoneuvojen pituuden vaikutusta, joten yhdistelmäajoneuvojen ohittaminen kestää yleensä pidempään kuin henkilöautojen ohittaminen. (Tapio 2003.)

## 4 Aiemmat HCT-kokeilut ja -tutkimukset

### 4.1 HCT-kuljetusten ja -tutkimusten tilanne maailmalla

HCT-ajoneuvojen määritelmä riippuu valtiosta, jonka liikennejärjestelmää tarkastellaan. HCT-ajoneuvoina pidetään yleensä valtion lainsäädännön asettamat enimmäismitat ja/tai -massat ylittäviä ajoneuvoja. Erikoiskuljetuksissa käytettäviä ajoneuvoja ei kuitenkaan yleensä kutsuta HCT-ajoneuvoiksi, sillä niillä hoidetaan luonteeltaan selvästi muista kuljetuksista poikkeavia, kertaluonteisia tehtäviä. Lisäksi erikoiskuljetusajoneuvojen suuri koko tai massa johtuu kuljetettavan kappaleen koosta, kun taas HCT-ajoneuvoyhdistelmien tavallista suurempi koko tai massa johtuu suuremmasta tavaramäärästä. Mikäli tilannetta tarkastellaan Suomen lainsäädännön puitteissa ja määritellään HCT-ajoneuvoiksi yli 25,25 metriä pitkät ja/tai yli 76 tonnia painavat ajoneuvoyhdistelmät, voidaan todeta, että vain harvat valtiot sallivat HCT-ajoneuvojen käyttämisen tiestöllään.

Brasiliassa yhdistelmäajoneuvojen koko on rajattu 19,8 metriin ja 57 tonniin, mutta rajatulla tieverkolla voidaan erikoisluvalla liikennöidä maksimissaan 30-metrillä ja 74-tonnisilla yhdistelmillä. Uudessa-Seelannissa lainsäädäntö sallii maksimissaan 20-metrinen ja 44-tonnisten yhdistelmien käytön, mutta erikoisluvalla ja rajatulla tieverkolla myös tätä pidempiä yhdistelmiä voidaan käyttää. Varsinaisia enimmäismassoja ja -mittoja HCT-yhdistelmille ei Uudessa-Seelannissa ole annettu, vaan käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit (Performance Based Standards, PBS). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli voidaan osoittaa, että lainsäädännön asettamat mitta- ja massarajat ylittävä ajoneuvoyhdistelmä täyttää esimerkiksi suuntavakavuutta, mäennousukykyä ja tierasitusta koskevat kriteerit, voidaan sille antaa liikennöintilupa. Yli 25-metriset ajoneuvoyhdistelmät ovat kuitenkin Uudessa-Seelannissa harvinaisia. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

Myös Australiassa käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit. Maan tieverkosto on jaettu neljään luokkaan, jotka määrittävät, kuinka suurilla ajoneuvoilla kullakin tiellä voidaan liikennöidä. HCT-ajoneuvot voivat ylittää 60 metrin pituuteen ja 132 tonnin kokonaispainoon ja erikoistapauksissa jopa tätäkin suuremmiksi, kun taas lainsäädännön asettamat rajat normaaleille ajoneuvoyhdistelmille ovat 26 metrin enimmäispituus ja 68 tonnin maksimimassa. Etelä-Afrikassa puolestaan pilotoidaan suorituskykyyn perustuvia standardeja, ja tämän johdosta joitakin normaalin lainsäädännön rajat (22 metriä ja 56 tonnia) ylittäviä yhdistelmiä on liikenteessä. Suurimmat käytössä olevat HCT-yhdistelmät ovat kaivosteollisuudessa käytetyt 42 metriä pitkät ja 176 tonnia painavat yhdistelmät. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

HCT-ajoneuvoja käytetään myös Pohjois-Amerikan valtioissa. Yhdysvalloissa lainsäädäntö vaihtelee osavaltioittain. Pisimmät HCT-yhdistelmät liikennöivät Coloradossa, jossa maksimipituus on 35,5 metriä, kun taas korkein maksimipainorajoitus, 74 tonnia, on säädetty Michiganissa. Myös Kanadassa lainsäädäntö vaihtelee alueittain. Normaalisti ajoneuvoyhdistelmät ovat pituudeltaan enintään 25-metrisiä ja massaltaan korkeintaan 63,5-tonnisia, mutta osassa provinseja käytössä ovat suorituskykyyn perustuvat standardit, jotka mahdollistavat myös suurempien ajoneuvoyhdistelmien käytön. Sekä Yhdysvalloissa että Kanadassa yleisimmät HCT-yhdistelmätyypit ovat vetoautosta, pitkästä puoliperävaunusta ja lyhyestä varsinaisesta perävaunusta koostuva Rocky mountain double; vetoautosta, pitkästä puoliperävaunusta ja pitkästä varsinaisesta perävaunusta koostuva Turnpike double sekä vetoautosta, lyhyestä puoliperävaunusta ja kahdesta lyhyestä varsinaisesta perävaunusta koostuva Triple-yhdistelmä. Meksikossa puolestaan voidaan rajatulla tieverkolla liikennöidä enintään 31 metriä pitkällä ja 66,5 tonnia painavilla HCT-yhdistelmillä. (Kyster-Hansen & Sjögren 2013.)

Euroopassa HCT-yhdistelmät ovat harvinaisia, mutta mielenkiinto tavallisia suurempia ajoneuvoyhdistelmiä kohtaan kasvaa alati erityisesti Suomessa ja Ruotsissa. Ensimmäinen HCT-ajoneuvo otettiin Ruotsissa käyttöön vuonna 2009, ja huhtikuussa 2016 yli 25,25 metriä pitkiä ja/tai yli 76-tonnisia ajoneuvoyhdistelmiä on käytössä yhdeksän kappaletta (Skogforsk.se 2016). Suomessa ensimmäinen HCT-ajoneuvo aloitti liikennöinnin vuonna 2013, ja huhtikuun 2016 alussa HCT-ajoneuvoja on liikenteessä kahdeksalla yrityksellä yhteensä yksitoista kappaletta. Trafín käsittelyssä on useita uusia hakemuksia, joten poikkeusluvan ehtojen täytyessä liikenteessä olevien HCT-ajoneuvojen määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan edelleen (Trafi.fi 2016b). Muissa Euroopan maissa HCT-ajoneuvoja ei ole otettu käyttöön, ja muutoinkin sallitut yhdistelmäkoot ovat suurimmassa osassa Eurooppaa pienempiä kuin Suomessa ja Ruotsissa.

Koska Ruotsin tilanne HCT-kuljetusten osalta on samankaltainen kuin Suomessa ja olosuhteet ovat muutenkin vertailukelpoisia, esitellään aliluvussa 4.2 Ruotsissa tehtyjä HCT-kokeiluita ja niihin liittyviä tutkimuksia. Tämän jälkeen aliluvussa 4.3 esitellään merkittävimpiä, erityisesti liikenneturvallisuuden ja ohituskäyttäytymisen näkökulmista tehtyjä HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia. Myös muista näkökulmista tehtyjä HCT-tutkimuksia on listattu lyhyesti, jotta lukijat voivat halutessaan syventyä aiheeseen esimerkiksi kuljetustalouden ja ympäristövaikutusten kannalta. Tämän työn varsinaiseen aihepiiriin ne eivät kuitenkaan kuulu.

## **4.2 Ruotsalaiset HCT-kokeilut**

### **4.2.1 En Trave Till eli ETT-projekti**

ETT tulee ruotsin kielen sanoista En Trave Till, jotka tarkoittavat suomeksi ”yksi nippu lisää”. Tällä viitataan raakapuukuljetuksiin, joissa Ruotsissa tavanomaisilla maksimisaaan 24 metriä pitkillä ja 60 tonnia painavilla kolmiakselisen kuorma-auton ja neljäakselisen varsinaisen perävaunun ajoneuvoyhdistelmillä voidaan kuljettaa kolme noin kuuden metrin pituista raakapuunippua. ETT-projektin tavoitteena oli luoda ajoneuvoyhdistelmä, jolla voidaan suuremman pituuden ja kokonaismassan ansiosta kuljettaa kolmen sijasta neljä puunippua kerralla. Projekti alkoi Ruotsissa vuonna 2006 muun muassa metsäntutkimuslaitos Skogforskin, Ruotsin liikennevirasto Trafikverketin, Volvon, metsä- ja auto-teollisuuden yritysten sekä yksityistieyhdistyksen yhteistyönä. Projektin tarkoituksena oli tutkia uudenlaisen, standardoiduista kuljetusyksiköistä kootun moduulipohjaisen ajoneuvoyhdistelmän mahdollisuuksia raakapuukuljetusten tehostamiseen sekä suuremman ajoneuvoyhdistelmän käytön vaikutuksia ympäristöön, tiestöön ja liikenneturvallisuuteen. Tavoitteena oli alentaa raakapuukuljetusten hiilidioksidipäästöjä ja muita negatiivisia ympäristövaikutuksia, vähentää raakapuukuljetusten polttoaineenkulutusta sekä luoda taloudellisia säästöjä pienempien työvoima-, polttoaine- ja ajoneuvokustannusten avulla aiheuttamatta negatiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ja tiestöön. (Löfroth & Svensson 2012.)

Neljän raakapuunipun kuljettamisen mahdollistavan ajoneuvoyhdistelmän mahdollisia konfiguraatiovaihtoehtoja vertailtiin muun muassa laskemalla yhdistelmien teoreettisia kääntösaiteita, vakautta sekä tiestöön aiheutuvaa kuormitusta. Tuotekehityksen tuloksena syntyi kuvassa 4.1 näkyvä 30 metriä pitkä ja kokonaispainoltaan 90 tonnin yhdistelmä, joka koostuu kuorma-autosta, apuvaunusta eli dollysta, linkkivaunusta sekä puoliperävaunusta. ETT-ajoneuvoyhdistelmän omamassa on 24 tonnia, joten siihen voidaan lastata 66 tonnin nettokuorma 90 tonnin kokonaismassan rajoissa. Volvon valmistamassa

kuorma-autossa on 660 hevosvoimaa, ja ajoneuvon kolmesta akselista kaksi on vetäviä. Lisäksi ajoneuvossa on sähköinen jarrutusjärjestelmä (EBS), jonka ansiosta kaikki yhdistelmäajoneuvon jarrut toimivat täsmälleen yhtenäikaisesti. Yhdistelmä valmistui loppuvuonna 2008, ja Ruotsin tieliikenneviranomaisten annettua poikkeusluvan liikennöintiin ETT-ajoneuvoyhdistelmä otettiin käyttöön tammikuussa 2009. (Löfroth & Svenson 2012.)



*Kuva 4.1. Kuorma-autosta, dollysta, linkkivaunusta ja puoliperävaunusta koostuva ETT-ajoneuvoyhdistelmä (Konepörssi.com 2009).*

ETT-ajoneuvon reitti on noin 150 kilometrin matka Överkalixissa sijaitsevasta terminaalista Piteåssa sijaitsevaan teollisuuslaitokseen. Paluumatka Överkalixin terminaaliin ajetaan tyhjänä. Reitti sisältää niin kaksi-, kolme- kuin nelikaistaisia tieosuuksia ja sekä keskikaiteellisia että keskikaiteettomia osuuksia. Suurin osa reitistä sijoittuu E4 ja E10 -teille. Pinnanmuodoiltaan liikennöintialue on melko tasaista maksimipituuskaltevuuden ollessa 4 %. (Löfroth & Svenson 2012.)

ETT-projektiin liittyen tavallista suuremman yhdistelmäajoneuvon vaikutuksia on tutkittu varsin monipuolisesti. Ajoneuvon Dynafleet-tietojärjestelmä tuottaa tietoa muun muassa ajoneuvon nopeudesta, kuormasta ja polttoaineenkulutuksesta. Näiden tietojen avulla Skogforsk on analysoinut kuljetusten kustannuksia, tuottavuutta, ajoneuvoyhdistelmän tärinää ja sekä päästöjä. Ruotsin liikennevirastossa on puolestaan tarkkailtu ETT-ajoneuvon aiheuttamaa tien kulumista ja siltojen kuormitusta. Ajoneuvon, perävaunun ja päällirakenteiden valmistajat ovat olleet vastuussa ajoneuvoyhdistelmän teknisestä arvioinnista ja kehittämisestä. Ruotsin tie- ja liikennetutkimuskeskus VTI on puolestaan tutkinut HCT-ajoneuvojen vaikutusta liikenneturvallisuuteen ja erityisesti ohituksiin. (Löfroth & Svenson 2012.)

Tiivistetysti kuvattuna tulokset osoittivat, että ETT-ajoneuvoyhdistelmällä voidaan tehostaa raakapuunkuljetuksia ilman merkittäviä negatiivisia vaikutuksia millään edellä mainituista osa-alueista. Vuosina 2009–2011 ETT-ajoneuvoyhdistelmällä ajettiin 800 000 kilometriä ja puuta kuljetettiin 150 000 kuutiometriä. Mikäli sama määrä puuta olisi kuljetettu tavanomaisilla 60 tonnin yhdistelmillä, olisi polttoainetta kulunut 21 % enemmän. Vastaavasti myös päästöt olisivat olleet suurempia. Koska ETT-yhdistelmällä voidaan kuljettaa 50 % enemmän puuta kuin 60-tonnisella yhdistelmällä, voidaan kahdella ETT-ajoneuvolla kuljettaa sama määrä puuta kuin kolmella tavanomaisella ajoneuvoyhdistelmällä. Tämä laskee työvoimakustannuksia ja muuttuvia sekä kiinteitä ajoneuvokuluja. (Löfroth & Svenson 2012.)

Koska ETT-ajoneuvossa suurempi kokonaismassa jakaantuu suuremmalle määrälle akseleita, ei yhdistelmän aiheuttama akselikuormitus ole tavanomaisten 60-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien aiheuttamaa akselikuormitusta suurempi. Tutkimuksissa ei havaittu ETT-ajoneuvon aiheuttaneen rakenteellisia vaikutuksia tiehen. Myöskään ajoneuvossa ei havaittu normaalista poikkeavia teknisiä muutoksia tutkimusajanjakson aikana. Kuljettajien kokemukset ETT-ajoneuvosta olivat pelkästään positiivisia: sen kuvailtiin olevan helposti ajettava ja vakaa – jopa tavanomaista yhdistelmäajoneuvoa vakaampi. Sähköistä jarrutusjärjestelmää (EBS) kuvailtiin hyvin toimivaksi, eikä jarrutusmatkoissa havaittu eroa 60-tonnisiin yhdistelmiin. Myöskään negatiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ei havaittu. VTI:n suorittama liikenneturvallisuustutkimus on esitelty laajemmin aliluvussa 4.3.2. (Löfroth & Svenson 2012.)

Vuonna 2009 päivittäiseen käyttöön otettu ensimmäinen ETT-ajoneuvo siirrettiin työkäytöstä Volvo-museoon Göteborgiin syyskuussa 2014. Autolla ajettiin yhteensä 1 400 000 kilometriä ja kuljetettiin yli 270 000 tonnia raakapuuta. Mikäli sama määrä puuta olisi kuljetettu tavallisilla puutavarayhdistelmillä, olisi polttoainetta kulunut 20 % enemmän (Volvotrucks.com 2014). Nykyisin tutkimusta jatketaan ETT-demo -projektina, joka koostuu 11 osaprojektista ja 25 ajoneuvoyhdistelmästä. ETT-demo -projektissa testataan useita erilaisia 74–100 tonnia painavia ja 24–30 metriä pitkiä suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmiä puun ja hakkeen kuljetuksessa eri puolilla Ruotsia (Metsähallitus 2013, Closer 2015).

#### 4.2.2 DUO2-projekti

Ruotsissa on tutkittu myös kappaletavarakuljetusten tehostamista uudenlaisten yhdistelmäajoneuvojen avulla. Vuonna 2012 alkanut DUO2-tutkimusprojekti pyrkii selvittämään, voidaanko tavanomaista pidemmillä ja painavammilla ajoneuvoyhdistelmillä vähentää raskaan liikenteen päästöjä ja energiankulutusta aiheuttamatta negatiivisia vaikutuksia tiestöön, liikenneturvallisuuteen ja kuljettajien työmukavuuteen. Tavoitteet ovat siis yhteneväisiä ETT-projektin kanssa, mutta konteksti on raakapuukuljetusten sijasta kappaletavarakuljetuksissa ja toiminta-alueena Pohjois-Ruotsin sijaan Etelä-Ruotsi. Projektin toimijoina ovat muun muassa Volvo, DB Schenker ja sen alihankkijayritys Kallebäcks Transport, tutkimuskeskus CLOSER, ajoneuvotutkimus- ja -innovaatiolaitos FFI, Ruotsin liikennevirasto Trafikverket sekä erilaiset ajoneuvotekniikkaa ja -rakenteita valmistavat yritykset. (Cider & Ranäng 2013, Duo2.nu 2015a.)

Projektin yhteistyökumppanit kehittivät ja suunnittelivat kaksi erilaista ajoneuvoyhdistelmää kappaletavarakuljetusten tehostamiseksi. Ensimmäinen, DUO-Traileriksi nimetty ajoneuvoyhdistelmä koostuu vetoautosta, puoliperävaunusta, apuvaunusta eli dolllysta ja toisesta puoliperävaunusta. DUO-Trailer -yhdistelmän pituus on 32,0 metriä ja maksimimassa 80 tonnia; yhdistelmän nettokapasiteetti on siis tilavuudeltaan kaksinkertainen perinteisiin puoliperävaunuyhdistelmiin verrattuna. DUO-Kärraksi kutsuttu toinen ajoneuvoyhdistelmä koostuu kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta. Yhdistelmän pituus on 27,5 metriä ja maksimipaino 66 tonnia. DUO-Kärä -yhdistelmälle myönnettiin liikennöintilupa vasta maaliskuussa 2015, joten sen osalta kokemukset rajallisemmat kuin DUO-Trailerista, joka on ollut liikenteessä vuodesta 2012 lähtien. DUO-Trailer -yhdistelmä on esitetty kuvassa 4.2 ja DUO-Kärä -yhdistelmä kuvassa 4.3. (Cider & Ranäng 2013.)





Kuva 4.2. DUO2-projektin vetoautosta, kahdesta puoliperävaunusta ja ne yhdistävästä dollysta koostuva DUO-Trailer -yhdistelmä (Duo2.nu 2015b).



Kuva 4.3. DUO2-projektin kuorma-autosta ja kahdesta keskiakseliperävaunusta koostuva DUO-Kärä -yhdistelmä (Duo2.nu 2015c).

Duo-trailer -yhdistelmäajoneuvolla ajettiin helmikuun 2012 ja maaliskuun 2015 välisenä aikana yhteensä noin 500 000 kilometriä Göteborgin ja Malmön välisellä reitillä DB Schenkerin terminaalien välisessä ajossa. Reitti on valtaosin 2+2-kaistaista moottoritietä. Vuonna 2012 DUO-trailerille myönnetty poikkeuslupa oli kolmevuotinen, ja lupaehdoissa liikennöinti sallittiin vain iltaseitsemän ja aamukuuden välisenä aikana tapahtuvaan liikennöintiin. Poikkeusluvan voimassaolo päättyi huhtikuussa 2015, jolloin kokeilut tällä tavallista pidemmällä ajoneuvoyhdistelmällä jäivät tauolle. DUO-trailerille myönnettiin kuitenkin uusi poikkeuslupa liikennöinnin jatkamiseksi joulukuusta 2015 alkaen. Uudessa poikkeusluvassa liikennöinti on sallittu vuorokauden ympäri. Aikarajoituksen poistuttua lähtöaikaa voidaan tarvittaessa aikaistaa ja paluuaikaa myöhäistää, mutta pääosa DUO-trailer -yhdistelmän liikennöinnistä tapahtuu kuitenkin edelleen iltaja yöaikaan. (Cider & Ranäng 2013, Svensk åkeritidning 2015.)

DUO2-projektissa on seurattu erityisesti ajoneuvon vakautta, polttoaineen kulutusta, ajon sujuvuutta sekä akseli- ja kokonaispainoja. Lisäksi projektin edetessä on ryhdytty seuraamaan myös renkaiden ja jarrujen kulumista sekä rengaspaineita. Tulokset DUO-Trailer -

ajoneuvoyhdistelmän osalta ovat olleet positiivisia. Tavoitteena ollut 15 prosentin hiili-dioksidipäästövähennys on ylittynyt reilusti; päästöt ovat olleet 27 prosenttia pienemmät verrattuna kahdella puoliperävaunuyhdistelmällä suoritettuihin kuljetuksiin. Myös polttoaineenkulutus ja kuljetuskustannukset ovat laskeneet vastaavasti. Muutoksia liikenneturvallisuuksessa ei ole havaittu. Myös yhdistelmän stabiliteetti on havaittu hyväksi niin kuljettajien empiiristen kokemusten kuin sivuttaisliikemittaustenkin perusteella – sivuttaiskiihtyvyys ei ole missään vaiheessa ylittänyt  $3 \text{ m/s}^2$  raja-arvoa. Liikennöinnissä havaitut haasteet ovat liittyneet lähinnä siihen, että alun perin yhdistelmän liikennöinti sallittiin ainoastaan iltaseitsemän ja aamukuuden välisenä aikana. Häiriöt liikenteessä tai terminaalitoiminnoissa aiheuttivat paineita kuljettajille, joiden tuli olla perillä Göteborgissa ennen poikkeusluvassa asetettua aamukuuden aikarajaa. Myös hyvin rajoitettu reitti on asettanut jonkin verran ongelmia. Mikäli liikenne esimerkiksi tietöiden tai liikenneonnettomuuden takia on ohjattu poikkeusreitille, ei pitkällä yhdistelmällä liikennöinti ole ollut mahdollista, vaan kuljetus on suoritettu tavallisilla puoliperävaunuyhdistelmillä. (Cider & Ranäng 2013, Svensk åkeritidning 2015.)

### 4.2.3 Muut ruotsalaiset HCT-kokeilut

Edellä esiteltyjen En Trave Till- ja DUO2 -projektien lisäksi Ruotsissa on käytössä muitakin tavallista suuremman kapasiteetin omaavia ajoneuvoyhdistelmiä. On kuitenkin huomattava, että Suomen ja Ruotsin lainsäädännön eroavaisuuksien vuoksi Ruotsissa HCT-yhdistelmiksi kutsutaan tavallisesti yhdistelmiä, joiden pituus ylittää 24,0 metriä ja/tai kokonaispaino ylittää 60 tonnia. Esimerkiksi 74 tonnia painavia ja 24 metriä pitkiä raakapuuajoneuvoyhdistelmiä on käytössä eri puolella Ruotsia yhteensä yli kaksikymmentä. Lisäksi vastaavankokoisilla HCT-ajoneuvoilla kuljetetaan muun muassa kiviaineksia, haketta ja teräsrullia. (Closer 2015.)

Ajoneuvoyhdistelmiä, jotka ylittävät myös Suomen normaalin lainsäädännön asettamat rajat ja joita siten voitaisiin myös Suomessa kutsua HCT-yhdistelmiksi, on huhtikuussa 2016 Ruotsissa käytössä ETT- ja DUO2-projektin ajoneuvojen lisäksi ainakin kuusi kappaletta. Scanian tutkimuslaboratoriolla on käytössään kaksi 31,5 metriä pitkää ajoneuvoyhdistelmää, joilla liikennöidään Södertäljen ja Malmön välillä. Yhdistelmät ovat konfiguraatioltaan DUO2-projektissa käytettävän DUO-Trailerin kaltaisia, sillä ne koostuvat vetoautosta, puoliperävaunusta, dollysta ja toisesta puoliperävaunusta (Lt.se 2014). Julaniminen kuljetusyritys kuljettaa kontteja yhdellä 31,6 metriä pitkällä ja maksimissaan 60-tonnia painavalla yhdistelmäajoneuvolla Etelä-Ruotsissa Skarassa ja Falköpingissä sijaitsevien terminaalien välillä (Transportnet.se 2014). Braås-niminen yritys puolestaan kuljettaa kiviaineksia Götanmaalla 24-metrillä yhdistelmällä, jonka maksimipaino on 80 tonnia. Lisäksi Burlink-niminen yritys kuljettaa kappaletavaraa Piteässä Smurfit Kappan tehtaan ja sataman välillä kahdella 80 tonnin kokonaispainon omaavalla ajoneuvoyhdistelmällä. Edellä mainittujen HCT-yhdistelmien lisäksi usealla liikennöitsijällä on suunnitelmissa lisätä 74-tonnisen yhdistelmän kantavuutta 90 tonniin asti. Lisäksi 40 kappaletta 90 tonnia kantavia ajoneuvoyhdistelmiä kuljetti malmia Kaunisvaaran kaivoksesta Pitkäjärven rautatieterminaaliin, kunnes kaivos suljettiin väliaikaisesti syksyllä 2014 malmien hinnan romahtamisen vuoksi. (Closer 2015, Skogforsk.se 2016.)

## 4.3 HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia

### 4.3.1 Raskaan ajoneuvon koon vaikutukset liikenneturvallisuuuteen

HCT-ajoneuvoja on otettu käyttöön yleensä sen vuoksi, että niiden avulla kuljetusten energiatehokkuutta voidaan parantaa ja kuljetuskustannuksia sekä päästöjä vähentää. Nämä positiiviset vaikutukset on teoreettisesti helppo ymmärtää, ja esimerkiksi edellä

esitellyt ETT- ja DUO2-tutkimusprojektit ovat osoittaneet myös käytännössä, että suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmillä voidaan saavuttaa niille asetettuja tavoitteita niin kuljetustalouden kuin ympäristöystävällisyydenkin osalta. Yksimielisyyttä ei kuitenkaan ole siitä, miten tavallista suuremmat ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat liikenneturvallisuuteen. Osa tutkijoista, poliitikoista ja kansalaisista pelkää HCT-ajoneuvojen aiheuttavan vaaratilanteita esimerkiksi tunneleissa, liittymissä, kiertoliittymissä ja ohitustilanteissa. Tavallista pidempien ja painavampien ajoneuvoyhdistelmien joutuessa onnettomuuksiin saattavat seuraukset olla vakavampia kuin normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa. Toisaalta HCT-ajoneuvojen määrän lisääntyminen vähentäisi raskaiden ajoneuvojen kokonaismäärää tieverkolla, mikä todennäköisesti laskisi raskaiden ajoneuvojen onnettomuustodennäköisyyttä. HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia liikenneturvallisuuteen on pyritty selvittämään erilaisten tutkimusten avulla, mutta tähän mennessä edellä mainittuja kiistanalaisia kysymyksiä ei ole luotettavasti voitu ratkaista tieteen keinoin. Tässä aliluvussa esitellään tärkeimpiä aiheesta tehtyjä tutkimuksia. (Sandin et al. 2014.)

Montufar et al. (2007) tutkivat HCT-yhdistelmien liikenneturvallisuutta Kanadan Albertassa vuosina 1999–2005. Kanadassa HCT-yhdistelmiksi lasketaan Rocky Mountain double-, Turnpike double- sekä Triple trailer combination -yhdistelmäajoneuvot, joiden pituudet ovat vastaavassa järjestyksessä 31, 38 ja 38 metriä. Tilastojen mukaan HCT-ajoneuvot olivat tutkimusaikana osallisena 106 onnettomuudessa, kun yhteensä onnettomuuksia tapahtui lähes 500 000. Onnettomuudet, joissa HCT-ajoneuvot olivat osallisina, olivat seurauksiltaan keskimääräistä lievempiä. HCT-yhdistelmien onnettomuusaste oli 25 onnettomuutta 100 miljoonaa ajettua kilometriä kohti, kun taas esimerkiksi puoliperävaunuyhdistelmille vastaava luku oli 42 ja henkilöautoille 83. Tutkimuksen mukaan HCT-ajoneuvot olivat kaikkein harvimmoin onnettomuuksiin joutuva ajoneuvoryhmä, kun lukuihin laskettiin mukaan vain HCT-ajoneuvoille sallitulla tiestöllä sattuneet onnettomuudet. Kun onnettomuudet ryhmiteltiin tapahtuma-aikojen mukaan, huomattiin, että HCT-ajoneuvoille tapahtuu ajettuihin kilometreihin nähden useammin onnettomuuksia joulu- ja toukokuun välisenä aikana kuin kesä- ja syyskuukausina. Keliolosuhteet olivatkin pääsyyinä noin 40 % HCT-ajoneuvoille sattuneisiin onnettomuuksiin. (Montufar et al. 2007.)

Knight et al. (2008) tutkivat, mitä vaikutuksia suurempien ajoneuvoyhdistelmien sallimisella olisi Isossa-Britanniassa, jossa puoliperävaunuyhdistelmien maksimipituus on 16,5 metriä ja kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmien maksimipituus on 18,75 metriä, kuten suurimmassa osassa Eurooppaa. Kuusiakselisen yhdistelmän maksimipaino on asetettu 44 tonniin. Tutkimuksen yhtenä osa-alueena oli arvioida kirjallisuuden ja tilastojen avulla, miten ajoneuvoyhdistelmien maksimipainon ja -pituuden kasvattaminen vaikuttaisi liikenneturvallisuuteen. Tutkijoiden mukaan Euroopassa ei ole tarpeeksi onnettomuustilastoja, joiden perusteella voitaisiin luotettavasti arvioida ajoneuvoyhdistelmien koon ja onnettomuusriskin yhteyttä. Knight et al. tutkivat Ison-Britannian poliisiviranomaisten raporttien perusteella raskaille ajoneuvoille sattuneita onnettomuuksia, joissa onnettomuuden osapuolia oli kuollut tai vakavasti loukkaantunut. He vertasivat onnettomuusraportteja nettopaino- ja akselimäärätilastoihin teillä, joilla onnettomuudet olivat tapahtuneet. Tutkimuksen mukaan ajoneuvoyhdistelmien kasvava massa ei näytä lisäävän vakavia onnettomuuksia, mutta akselien määrän lisääntyminen kasvattaa hieman vakavien onnettomuuksien riskiä erityisesti alemmalla tieverkolla ja kaupunkialueilla. Tutkijat huomasivat lisäksi, että täysperävaunuyhdistelmät joutuvat selvästi kuorma-autoja ja puoliperävaunuyhdistelmiä useammin vakaviin onnettomuuksiin. (Knight et al. 2008.)



Knight et al. (2008) tutkivat kirjallisuuden avulla myös, miten ajoneuvoyhdistelmien maksimipainon kasvattaminen vaikuttaisi onnettomuuksien seurausten vakavuuteen. Onnettomuuden seurauksiin vaikuttavat erityisesti ajoneuvojen nopeudet ja massat sekä ajoneuvojen törmäystapa. Kirjallisuusselvityksen mukaan raskaan ajoneuvon ja henkilöauton törmäyksissä raskaan ajoneuvon painon kasvu ei merkittävästi lisää onnettomuuden vakavuusastetta, kun raskas ajoneuvo painaa yli 15 tonnia. Keskimääräisen 1,5 tonnia painavan henkilöauton ja 15 tonnia painavan raskaan ajoneuvon törmäyksessä nopeuden muutos kohdistuu lähes kokonaan henkilöautoon, joten raskaan ajoneuvon massan kasvattaminen ei merkittävästi muuta tätä onnettomuuden seurausten kannalta oleellista tekijää. Toisaalta Knight et al. toteavat, että viimeisimpien vuosikymmenten aikana tapahtunut kehitys henkilöautojen matkustajaturvallisuusjärjestelmissä on mahdollistanut sen, että henkilöautomatkustajat voivat selvitä hengissä törmäyksistä yhä painavampien ajoneuvojen kanssa. Tutkimuksen tuloksena on, että ajoneuvoyhdistelmien massojen ja mittojen kasvattaminen vaikuttaa onnettomuusriskiin, mutta tarkempi arviointi on hankalaa, sillä myös tietyt tyyppi ja ajoneuvoyhdistelmän tyyppi vaikuttavat onnettomuuksien todennäköisyyteen ja niiden vakavuuteen. (Knight et al. 2008.)

Myös yhdysvaltalaisista onnettomuustilastoista on tehty tutkimusta, joka pyrkii selvittämään ajoneuvopituuden ja onnettomuusriskien välistä yhteyttä. Af Wåhlberg (2008) laski lyhyille, yhden peräkärryn ajoneuvoyhdistelmille ja pitkille, kahden peräkärryn ajoneuvoyhdistelmille suhteelliset onnettomuusriskit kolmessa eri onnettomuusluokassa: kaikki onnettomuudet, loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet ja kuolemaan johtaneet onnettomuudet. Af Wåhlbergin tutkimus eroaa edellä esitellystä Knightin tutkimuksesta sekä aiemmin Yhdysvalloissa suoritetuista tutkimuksista siinä, että tässä tutkimuksessa tietyt vaikutukset onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyksiin otettiin huomioon vertailemalla vain samalla tietyillä tapahtuneita onnettomuuksia keskenään. Af Wåhlbergin tutkimuksen mukaan pitkät yhdistelmät joutuvat hieman lyhyitä yhdistelmiä useammin kuolemaan johtaneisiin onnettomuuksiin, mutta muissa onnettomuusluokissa lyhyiden ajoneuvoyhdistelmien onnettomuusriski havaittiin suuremmaksi kuin pitkien. Lyhyiden yhdistelmien korvaamisella pitkillä yhdistelmillä voitiin tutkimuksen mukaan todeta olevan positiivisia vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. Af Wåhlberg totesi kuitenkin, että tietyissä liikenneympäristöissä, kuten esimerkiksi kaupunkialueilla, pitkät yhdistelmät voivat vaikuttaa liikenneturvallisuuteen myös negatiivisesti. Af Wåhlbergin huomasikin tutkimuksessaan Knight et al. (2008) tutkimuksen kanssa yhtenevästi, että myös ajoneuvoyhdistelmän tyypillä on vaikutusta onnettomuustodennäköisyyteen: yhdysvaltalaisien tilastojen mukaan puoliperävaunun vetämiseen tarkoitetut kuorma-autot ilman perävaunua olivat määräänsä suhteutettuna yllämainittuina onnettomuustilastoissa. (Af Wåhlberg 2008.)

Grislis (2010) on tutkinut HCT-ajoneuvojen ominaisuuksien vaikutusta liikenneturvallisuuteen lähinnä kirjallisuuden avulla. Hänen mukaansa ajoneuvopituuden kasvu saattaa vaikuttaa seuraaviin tekijöihin: ajoneuvoyhdistelmän tai perävaunun kaatumisherkkyys, perävaunun liikerata ja oikaiseminen käännäessä, yhdistelmän sivuttaisheilunta, ajoneuvon kiihtyvyys ja nopeuden ylläpitäminen sekä yhdistelmän hidastuvuus. Edellä mainitut seikat puolestaan saattavat osaltaan vaikuttaa turvallisuuteen. Mikäli yhdistelmän kokonaispituus kasvaa massan pysyessä samana, siirtyy massakeskipisteen sijainti matalammalle, mikä vähentää kaatumisherkkyyttä ja parantaa siten turvallisuutta. Ajoneuvoyhdistelmän kokonaispituuden kasvaessa saattaa käännäessä vaadittu tila kasvaa suuremman pyyhkäisyalan myötä. Hiljaisessa nopeudessa tämä vaikuttaa Grislin mu-

kaan lähinnä infrastruktuuriin, kuten risteysalueiden reunakiveyksiin, mutta turvallisuuden kannalta merkittävää muutosta ei tapahdu. Suurissa nopeuksissa pituuden kasvu saat-  
taa lisätä yhdistelmän huojumista erityisesti nopeissa väistötilanteissa. Toisaalta jotkin HCT-yhdistelmäkonfiguraatiot ovat tutkimusten mukaan tältä osin perinteisiä kuorma-  
auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmiä vakaampia. Pidemmät ajoneuvoyhdistelmät  
ovat kääntyessään tavallista yhdistelmää kauemmin risteysalueella. Grislin mukaan  
tämä voi vaikuttaa negatiivisesti turvallisuuteen, ellei HCT-yhdistelmien kiihtyvyysoi-  
naisuuksia paranneta. Pidemmät ajoneuvoyhdistelmät vaativat myös monimutkaisemmat  
jarrutusjärjestelmät, mikä saattaa osaltaan vaikuttaa HCT-yhdistelmien turvallisuuteen.  
Grislin mukaan käyttämällä kehittyneempiä teknisiä ratkaisuja ja elektronisia jarrujär-  
jestelmiä voidaan mahdolliset turvallisuusriskit kuitenkin hallita. (Grislin 2010.)

Bálint et al. (2014) pyrkivät tutkimuksessaan selvittämään, millaisia liikenneturvallisuus-  
vaikutuksia HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on. Tutkimuksensa ensimmäisessä osassa he  
analysoivat kirjallisuutta ja tilastoitua tietoa maista, joissa HCT-ajoneuvot ovat käytössä,  
ja pyrkivät selvittämään, ovatko HCT-yhdistelmät joutuneet ajosuoritteeseensa suhteutet-  
tuna tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä useammin vakaviin henkilövahinko-onnettomuuksii-  
siin. Tutkijoiden mukaan johtopäätöksiä HCT-ajoneuvojen onnettomuustodennäköisyy-  
destä on vaikeaa vetää, sillä osa tutkimuksista osoittaa HCT-ajoneuvoille hieman tavalli-  
sia yhdistelmiä korkeampaa todennäköisyyttä joutua onnettomuuksiin, kun taas toisten  
tutkimusten mukaan eroa tavanomaisiin ajoneuvoyhdistelmiin ei ole. Analyysiä ja vertai-  
lua vaikeuttaa se, että tilastoissa raskaat ajoneuvot luokitellaan yhä useammin konfigu-  
raationsa mukaan yhdistelmän kokonaispituuden sijasta. (Bálint et al. 2014.)

Tutkimuksen toisessa osassa tutkijat analysoivat ruotsalaisia henkilövahinko-onnetto-  
muustilastoja vuosilta 2003–2012. Tässä tutkimuksen osassa selvitettiin, tapahtuuko pit-  
kille (18,76–25,25 m) ajoneuvoyhdistelmille enemmän henkilövahinko-onnettomuuksia  
kuin keskipitkille (12,01–18,75 m) ja lyhyille (enintään 12,0 m) yhdistelmille. Tilastojen  
mukaan kymmenen vuoden seurantajakson aikana lyhyille yhdistelmille sattui 137 hen-  
kilövahinko-onnettomuutta miljardia kilometriä kohti. Keskipitkille yhdistelmille vas-  
taava luku oli 56 ja pitkille yhdistelmille 44. Lukujen perusteella voidaan todeta, että pit-  
kät yhdistelmät joutuivat onnettomuuksiin lyhyitä ja keskipitkiä yhdistelmiä harvemmin.  
Tutkijat kuitenkin huomauttivat, että lukuja vertailtaessa tulee ottaa huomioon esimer-  
kiksi se, että pidemmillä yhdistelmillä liikennöidään usein parempilaatuisella päätiever-  
kostolla ja pitkiä yhdistelmiä saattavat ajaa keskimäärin kokeneemmat kuljettajat kuin  
lyhyitä yhdistelmiä. Niinpä näiden tekijöiden vaikutusta lyhyitä ja keskipitkiä yhdistel-  
miä matalampiin onnettomuuslukuihin ei voida poissulkea. (Bálint et al. 2014.)

Lisäksi Bálint et al. (2014) analysoivat Ruotsissa vuosina 2003–2012 raskaille ajoneu-  
voille tapahtuneita onnettomuuksia tarkempien onnettomuustietojen avulla ja selvittivät  
näin, mitkä ovat yleisimpiä onnettomuustyyppisiä eri pituusluokissa ja onko ajoneuvoyh-  
distelmän pituudella vaikutusta eri onnettomuustyyppien yleisyyteen. Tutkijat analysoi-  
vat yhteensä 192 onnettomuutta, joissa raskas ajoneuvo oli osallisena. 166 tapauksessa  
raskaan ajoneuvon pituudella ei ollut vaikutusta onnettomuuden syyhyn tai sen seurauk-  
siin, kun taas lopuissa 26 tapauksessa raskaan ajoneuvon pituus oli luokiteltu mahdol-  
liseksi osatekijäksi onnettomuuden syyhyn tai seurauksiin. Ajoneuvoyhdistelmän pituus  
mainittiin mahdolliseksi osatekijäksi onnettomuuden syyhyn tai sen seurauksiin useim-  
miten kohtaamisonnettomuuksissa, tieltä poistumiseen tai tielle liittymiseen liittyvissä  
onnettomuuksissa sekä risteysalueella tapahtuneissa onnettomuuksissa. Kun raskaat ajo-  
neuvot ryhmiteltiin pituusluokkiin, havaittiin, että lyhyen ajoneuvoyhdistelmän pituus  
luokitellaan tilastojen perusteella harvemmin mahdolliseksi osatekijäksi onnettomuuden

syntyyn tai sen seurauksiin kuin keskipitkän tai pitkän ajoneuvoyhdistelmän pituus. Keskipitkien ja pitkien ajoneuvoyhdistelmien välillä tilastollista eroa ei kuitenkaan havaittu. (Bálint et al. 2014.)

Kuten edellä esitellyistä tutkimuksista ja niiden tuloksista huomataan, ei pitkien ajoneuvoyhdistelmien ole tieteellisesti todistettu joutuvan lyhyitä ajoneuvoyhdistelmiä useammin liikenneonnettomuuksiin. Monissa tutkimuksista pitkien yhdistelmien onnettomuudet on sen sijaan havaittu harvinaisemmiksi kuin lyhyempien yhdistelmien onnettomuudet. Tutkimukset eivät kuitenkaan yleensä ota huomioon sitä, että pitkillä ajoneuvoyhdistelmillä ajetaan käyttötarkoituksensa vuoksi erilaisissa liikenneolosuhteissa kuin lyhyillä yhdistelmillä. Vertailukelpoisten onnettomuustodennäköisyyksien laskemiseksi tulisikin ottaa huomioon erilaisilla yhdistelmillä ajettujen kilometrien määrä kullakin tietyyppillä. Lisäksi tutkimukset eivät yleensä ota huomioon eroja lyhyiden ja pitkien yhdistelmien kuljettajien kokemuksessa ja osaamistasossa. Tämän vuoksi tutkimusten luvut eivät välttämättä kerro suoraan tietyn ajoneuvoyhdistelmätyypin absoluuttisesta onnettomuustodennäköisyydestä. Edellä esitellyissä tutkimuksissa oltiinkin yksimielisiä siitä, että ajoneuvoyhdistelmän onnettomuustodennäköisyyteen eivät vaikuta ainoastaan sen massa ja pituus, vaan muun muassa yhdistelmän tyyppi (esimerkiksi perävaunujen määrä), tietyyppi ja kuljettajan ominaisuudet.

### 4.3.2 Ajoneuvopituuden vaikutukset ohittamiseen

Koska ohitettavan ajoneuvon pituuden kasvaessa ohituksen kesto kasvaa, on mahdollista, että tavallista pidempien ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvu lisää ohittamisonnettomuuksia (Sandin et al. 2014). Ohittamiseen sisältyy riskejä erityisesti kaksikaistaisilla teillä, joilla ohittava ajoneuvo siirtyy ohituksen ajaksi vastaantulevan liikenteen kaistalle. Mikäli vastaantulevan liikenteen kaistalla kohdataan ajoneuvo, voi seurauksena olla ajautuminen ulos tieltä, törmääminen vastaantulevaan ajoneuvoon tai törmääminen ohitettavan tai jonkin muun samaan suuntaan ajavan ajoneuvon kanssa pyrittäessä keskeyttämään ohitus tai nopeuttamaan sitä (Sparks et al. 2000). HCT-ajoneuvoista puhuttaessa vaikutukset ohitukseen ja ohitusturvallisuuteen nousevat usein esille. Toisaalta pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen vaatii pidemmän matkan ja ajan kuin lyhyen ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen, kun taas toisaalta pitkien yhdistelmien määrän lisääntyminen vähentää tarvittavien ajoneuvoyhdistelmien kokonaismäärää, mikä puolestaan vähentää ohittamisen tarvetta. Tässä aliluvussa esitellään lyhyesti tutkimuksia, jotka käsittelevät ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitukseen ja ohitusturvallisuuteen. Aiemmin tehtyjen ohitustutkimusten esittely on tärkeää, sillä myös yksi tämän tutkimusprojektin ja siihen kuuluvan, käsillä olevan diplomityön päätavoitteista on selvittää ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohituskäyttäytymiseen.

Hammarström (1976) videonauhoitti 18 ja 24 metriä pitkien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia Ruotsissa kaksikaistaisilla teillä ja pyrki analysoimaan ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitusturvallisuuteen. Ohitusturvallisuuden epäsuorana indikaattorina Hammarström käytti turva-aikaa (meeting margin), jonka hän määritteli tarkoittavan aikaa ohituksen loppumisesta vastaantulevan ajoneuvon kohtaamiseen. Hammarströmin oletuksen mukaan pidempi turva-aika pienentää onnettomuusriskiä. Tutkimuksessa määriteltiin ohitus päättyneeksi, kun ohittava ajoneuvo oli siirtynyt kymmenen metriä ohitettavan ajoneuvon edelle. Hammarström jakoi ohitukset kahteen luokkaan sen mukaan, tapahtuivatko ne poikkileikkaukseltaan kapeammilla vai leveämmillä kuin 10,5 metriä leveillä teillä. Tutkimuksessa analysoitiin kaikki kapeammilla teillä havaitut ohitukset joissa turva-aika oli enintään 7 sekunnin mittainen ja havaittiin, että lyhyiden ja pitkien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten välillä turva-ajoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää

eroa. Keskimääräinen turva-aika 18-metrinen yhdistelmän ohituksissa oli 4,5 sekuntia ja 24-metrinen yhdistelmän ohituksissa 4,3 sekuntia. Tien poikkileikkauksen havaittiin vaikuttavan turva-aikoihin, sillä turva-ajat leveämmän poikkileikkauksen teillä olivat selvästi lyhyempiä kuin kapeammilla teillä. Toisaalta leveämmän poikkileikkauksen tiet olivat niin sanottuja leveäkaistateitä, joilla ohittava ajoneuvo voi kohdata vastaantulijan jo ennen ohituksen päättymistä. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että turva-ajat pitenevät kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 0,7–0,8 sekunnilla, mikäli ohitettavat ajoneuvoyhdistelmät varustettiin niiden pituutta osoittavilla kylteillä. (Hammarström 1978.)

Myös Troutbeck (1981) on tutkinut ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitukseen. Troutbeck videonauhoitti Australiassa kaksikaistaisilla teillä tapahtuneita ohituksia ja jakoi ohitukset ohitettavan ajoneuvon pituuden mukaan viiteen luokkaan (5, 16, 18, 20 ja 21 metriä). Troutbeck vertaili ohitusten turva-aikoja, jotka hän määritteli tarkoittamaan aikaa siitä hetkestä, kun ohittanut ajoneuvo palasi kokonaan omalle kaistalleen siihen hetkeen, kun ohittanut ajoneuvo kohtasi vastaantulijan. Tutkimuksen mukaan turva-aikojen jakaumissa ei ollut eroa, kun ohitettavan ajoneuvon pituus ylitti 16 metriä. Sen sijaan Troutbeckin mukaan turva-aikoihin vaikutti ensisijaisesti tien liikennemäärä: liikennemäärän kasvaessa ohittajat olivat valmiita hyväksymään yhä lyhyempiä turva-aikoja, jolloin keskimääräiset turva-ajat lyhenivät. Tutkimuksessa analysoitiin kaikki enintään 30 sekunnin mittaiset turvavälit, jolloin yleisin turva-aika oli noin 4,5 sekuntia ja turva-aikojen keskiarvo puolestaan noin 10 sekuntia. Ohitettavan ajoneuvon nopeus ohitushetkellä oli 60–80 km/h, ja vallitseva nopeusrajoitus oli 110 km/h. (Troutbeck 1981.)

Sparks et al. (1993) puolestaan tutkivat ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohittavien kuljettajien vaatimiin ohitusnäköihin kehittämänsä simulaatiomallin avulla. Eri-tyisesti tutkimuksessa vertailtiin 23-metrinen yhdistelmän ohittamisessa vaadittua näkemää 25-metrinen yhdistelmän ohittamisessa vaadittuun näkemään, sillä tutkimuksen tekohetkellä Kanadassa harkittiin yhdistelmäajoneuvojen sallitun maksimipituuden nostamista 23 metristä 25 metriin niissä osavaltioissa, joissa maksimipituusraja ei vielä ollut nostettu. Tutkimuksen mukaan yhdistelmäajoneuvoa ohitettaessa vaaditaan noin 40 % pidempi ohitusnäkemä kuin henkilöautoa ohitettaessa. Ohitettavan yhdistelmäajoneuvon pituuden kasvattaminen 8,7 prosentilla 23 metristä 25 metriin kasvatti keskimääräistä ohitusnäkemävaatimusta kuitenkin ainoastaan 2,9 %. Tutkijat pitivät kasvua merkityksettömänä, kun huomioon otettiin mallin epätarkkuustekijät. Ajoneuvopituuden sijaan ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeusero havaittiin ohitusnäkemävaatimuksiin selvimmin vaikuttavaksi tekijäksi. (Sparks et al. 1993.)

Myöhemmin Sparks et al. (2000) tutkivat myös HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia ohituskäyttäytymiseen ja liikenneturvallisuuteen. Simulointiohjelmisto TARAn avulla tutkittiin mitä seurauksia 40-metrinen turnpike double -ajoneuvoyhdistelmien yöaikaisen liikennöinnin sallimisella Kanadan tieverkon moottoritieillä 7 olisi. Tutkijat tarkkailivat ohituksen aloittamiseksi vaadittua näkemää ja ajoneuvoista vapaata väliä vastaantulijan kaistan liikennevirrassa, ohitusten kestoa sekä turva-aikaa ohituksen loppumisen ja seuraavan vastaantulijan ajoneuvon kohtaamishetken välillä. Tutkijat havaitsivat, että keskimääräinen turva-aika henkilöautoja ja normaalipituisia ajoneuvoyhdistelmiä ohitettaessa oli 6–7 sekuntia, kun taas turnpike double -yhdistelmiä ohitettaessa keskimääräinen turva-aika oli 32 sekuntia. Ohittajat vaativat siis huomattavasti pidempiä ohitusnäkemä ja välejä vastaantulijassa liikennevirrassa ohittaakseen tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän. Turnpike double yhdistelmillä liikennöinti sallittiin vain iltayhdeksän ja aamuseitsemän välisenä aikana, joten jononmuodostus yöliikenteessä lisääntyi hieman. Päiväaikana viivytettynä ajaminen väheni kuitenkin huomattavasti enemmän, sillä yhdellä

turnpike double yhdistelmällä pystyttiin korvaamaan kaksi normaalikokoista ajoneuvoyhdistelmää, joten raskaiden ajoneuvojen määrä päiväliikenteessä väheni enemmän kuin niiden määrä yöliikenteessä kasvoi. Lisäksi liikennemäärät ylipäänsä olivat yöaikaan huomattavasti vähäisempiä. Tutkijoiden mukaan turnpike double -yhdistelmien salliminen yöaikaan vaikuttaisi liikenneturvallisuuteen kaikkiaan positiivisella tavalla. (Sparks et al. 2000.)

Barton ja Morrall (1998) puolestaan selvittivät tutkimuksessaan edellytyksiä, joita yli 25-metrinen ajoneuvoyhdistelmien liikennöinti Kanadan Albertan kaksikaistaisilla valteilla vaatii. Erityisesti tutkimuksessa selvitettiin, millaisilla liikennemäärillä tavallista pidemmillä ajoneuvoyhdistelmillä liikennöinti ei vielä vaikuta merkittävästi liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. Tutkijoiden mukaan esimerkiksi kaksikaistaisella tieosuudella, jolla ei ole ohituskieltoalueita, tulisi liikennemäärän olla enintään 425 ajoneuvoa tunnissa, jotta yli 30 metriä pitkät ajoneuvoyhdistelmät eivät vaikeuttaisi merkittävästi ohittamista. Toisaalta mikäli ohituskaistoja olisi vähintään 20 % tieosan pituudesta, voisi kokonaisliikennemäärä olla lähes kaksinkertainen; 734 ajoneuvoa tunnissa. Ohituskaistojen lisääminen erityisesti nousuihin todettiin tehokkaaksi keinoksi varmistaa liikenteen sujuvuus myös tavallista pidempien ajoneuvoyhdistelmien yleistyessä. (Barton & Morrall 1998.)

Hanley ja Forkenbrock (2005) kehittivät aiemmin tehtyjen ohitusmallien pohjalta uuden stokastisen mallin, joka pyrki ottamaan huomioon ohitettavien autojen pituuksien ja nopeuksien, vastaan tulevan liikenteen määrän ja ohitusmahdollisuutta odottavien autojen määrän satunnaisen vaihtelun. Aikaisemmat mallit olivat tutkineet ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutusta ohitusnopeuksiin, -matkoihin ja -näkemisiin, mutta käyttäneet ajoneuvojen suorituskyyvylle ja kuljettajien ominaisuuksille tilastollisia keskiarvoja. Simulointimallissaan Hanley ja Forkenbrock pyrkivätkin toistamaan liikennevirrassa sekä ajoneuvojen ja kuljettajien ominaisuuksissa esiintyvän satunnaisvaihtelun luotettavampien tulosten saamiseksi. Heidän tutkimuksensa mukaan tavallista pidempien ajoneuvojen yleistyminen kaksikaistaisilla teillä saattaa olla turvallisuusriski, sillä todennäköisyys ohituksen epäonnistumiseen kasvaa ohitettavien ajoneuvojen pituuden kasvaessa. Toisaalta tutkimuksessa oletettiin, että ohittajien ohituksen aloittamiseksi vaatima väli vastaan tulevassa liikennevirrassa ei kasvaisi ohitettavan ajoneuvon pituuden kasvaessa. Mikäli ohittaja hyväksyy keskimääräisen 17,28 sekunnin pituisen välin sekä 19,8-metrinen ajoneuvoyhdistelmän että 35,6-metrinen ajoneuvoyhdistelmän ohituksessa, on ohituksen epäonnistumisen todennäköisyys tutkijoiden mukaan pitkän yhdistelmän tapauksessa 2–6 kertaa suurempi. Tutkijoiden mukaan henkilöautojen kuljettajat joko ottavat suurempia riskejä HCT-ajoneuvojen ohituksissa ajamalla vastaan tulevan liikenteen kaistalla pidemmän aikaa tai suuremmalla nopeudella kuin tavallisten ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa tai välttävät riskinottoa odottamalla pidempää vapaata aikaväliä vastaan tulevassa liikennevirrassa. (Hanley & Forkenbrock 2005.)

Andersson et al. (2011) suorittavat luvussa 4.2.1 esiteltyyn En Trave Till (ETT) -projektiin liittyen tutkimuksen liikenneturvallisuudesta 30-metrinen ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Tutkimuksessa käytettiin neljää eri metodologiaa: normaalikokoisten yhdistelmäajoneuvojen kuljettajien haastattelua, 30-metrinen ETT-ajoneuvoyhdistelmän kuljettajien haastattelua, ohitustilanteiden simuloimista ajoneuvosimulaattorilla sekä todellisella tieverkolla tapahtuvien ohitusten videointia ja videomateriaalin jälkianalysointia. Normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien kuljettajat uskoivat 30-metrinen yhdistelmien aiheuttavan liikenneturvallisuusongelmia erityisesti konfliktitilanteissa tavallisten tienkäyttä-

jien kanssa, mutta ETT-ajoneuvon kuljettajat eivät kuitenkaan olleet kokeneet kyseisenlaisia ongelmia. Lisäksi he mainitsivat, että monet mahdollisista ongelmista voidaan ratkaista paremmalla suunnittelulla ja ennakoinnilla. (Andersson et al. 2011.)

Tutkimuksen simulointiosassa tutkittiin sekä 30,4-metrinen että 18,75-metrinen ajoneuvon ohittamista 2+1-kaistaisella tiellä ajoneuvosimulaattorin avulla. Tutkimuksen mukaan ohituspäätöstä tehtäessä ohitettavan ajoneuvon pituus ei ole merkitsevä tekijä, sen sijaan ohituspäätös perustuu jäljellä olevan ohituskaistan pituuteen ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän takapästä mitattuna. Mitä enemmän ohituskaistaa on jäljellä, sitä enemmän ohituksia tapahtuu riippumatta ohitettavan ajoneuvon pituudesta. Mikäli sekä pitkän että normaalipituisten ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen aloitetaan yhtä pitkän etäisyyden päästä ohituskaistan päätepisteeseen nähden, on turvalliseen ohitukseen käytettävissä oleva aika pitkän ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa lyhyempi kuin 18,75-metrinen yhdistelmän ohituksessa. Tutkijoiden mukaan on mahdollista, että ohituksiin liittyvät vaaratilanteet yleistyvät pitkien ajoneuvoyhdistelmien määrän kasvaessa, mikäli autoilijoilla on vaikeuksia arvioida ohitettavien ajoneuvojen pituuksia. Simulointitutkimuksen aineisto oli kuitenkin verrattain pieni ja ohituksia tutkittiin vain ohituskaistallisilla teillä, joten yleistettäviä johtopäätöksiä ohitettavan ajoneuvon pituuden vaikutuksesta ohitusturvallisuuteen ei voitu tehdä. (Andersson et al. 2011, Andersson et al. 2012.)

Tutkimuksen kenttätutkimusosiossa 30-metrinen ETT-yhdistelmä ja 24 metriä pitkä vertailuyhdistelmä varustettiin videokameroilla. Kuuden kuukauden tutkimusajanjakson aikana kertynyttä materiaalia analysoimalla tutkittiin ajoneuvoyhdistelmän pituuden vaikutusta ohitustilannetta kuvaaviin parametreihin, kuten turva-aikaan sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeuksiin ohituksen aikana. Tutkimuksen kohteena olleella 50 kilometrin pituisella kaksikaistaisella tieosuudella ETT-yhdistelmä ohitettiin 1078 kertaa ja vertailuyhdistelmä 265 kertaa. Tutkimuksen kohteena oli myös 48 kilometriä pitkä 2+1-kaistainen tie, jolla ETT-yhdistelmä ohitettiin 240 kertaa ja vertailuyhdistelmä 119 kertaa. Vertailuyhdistelmän ohitusten vähäisempi määrä johtui siitä, että yhdistelmällä ajettiin suurimmaksi osaksi tutkittavan tieosuuden ulkopuolella. (Andersson et al. 2011.)

Ohitusten analyysissä havaittiin, että tavallisella kaksikaistaisella tiellä 30-metrinen ETT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa turva-ajat olivat hieman useammin kriittisellä tasolla kuin 24 metriä pitkän vertailuyhdistelmän ohituksissa. Tutkimuksessa turva-aika määriteltiin ajaksi, joka kului siitä hetkestä, jolloin ohittaneen ajoneuvon takapäen ja ohitettavan yhdistelmäajoneuvon etupään välinen etäisyys oli 2 metriä, siihen hetkeen, kunnes ohittanut ajoneuvo kohtasi vastaantulijan. Turva-ajan määriteltiin olevan kriittisellä tasolla, kun ohituksen loppumisesta seuraavan vastaantulijan ajoneuvon kohtaamiseen oli enintään kolme sekuntia. Havaintojen mukaan tätä lyhyemmillä turva-ajoilla ohitettava ajoneuvoyhdistelmä ja/tai vastaantuleva ajoneuvo joutuivat jarruttamaan tai tekemään väistöliikkeitä helpottaakseen ohituksen turvallista loppuunsaattamista. 2+1-kaistaisilla tieosuuksilla turva-aika määriteltiin ohituksen päättymisajan ja ohituskaistan päätepisteen saavuttamisen ajanhetken välisenä aikavälinä ja turva-aikojen määriteltiin olevan kriittisellä tasolla, mikäli ne olivat negatiivisia. Käytännössä negatiivinen turva-aika tarkoitti siis sitä, että ohitus päättyi vasta ohituskaistallisen tieosuuden päättymisen jälkeen. Kriittisen turva-ajan esiintymistiheydessä ei havaittu eroa 30-metrinen ja 24-metrinen yhdistelmien ohitusten välillä. Sekä kaksikaistaisilla että ohituskaistallisilla teillä ohittavan ajoneuvon nopeus havaittiin riippumattomaksi ohitettavan ajoneuvon pituudesta. (Andersson et al. 2011.)

Osaan ETT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaneiden ajoneuvojen kuljettajista otettiin puhelimitse yhteyttä ohitustapahtumaa seuraavina päivinä. Henkilöauton kuljettajien haastatte- luissa selvisi, etteivät he olleet kokeneet 30 metriä pitkän yhdistelmän ohittamista turval- lisuuden kannalta ongelmalliseksi. Osa vastanneista ei ollut edes huomannut ohittaneensa tavallista pidemmän yhdistelmäajoneuvon. Yhteenvetona tutkimuksesta Andersson et al. (2011) totesivat, että normaalia pidemmät ajoneuvoyhdistelmät saattavat tuoda muka- naan liikenneturvallisuusongelmia ohitustilanteisiin liittyen, mutta koska tutkimusai- neisto oli pieni ja ohitukset tapahtuivat samankaltaisissa olosuhteissa ja tilanteissa, on laajempien johtopäätösten tekeminen mahdotonta. Lisäksi tutkijat huomauttavat, että mi- käli pidemmät ajoneuvoyhdistelmät lisääntyvät, vaikuttaa vähenevä raskaiden ajoneuvo- jen kokonaismäärä edelleen liikenneturvallisuuteen. (Andersson et al. 2011.)

Voidaan todeta, että ajoneuvopituuden vaikutusta ohituksiin on tutkittu jonkin verran, mutta selkeää kuvaa vaikutussuhteesta ei ole saatu. Toisaalta tämä on ymmärrettävää, sillä ohituskäyttytymiseen vaikuttavat monet tekijät keliolosuhteista, liikennemääristä, tietyypistä ja ohittavan sekä ohitettavan ajoneuvon ominaisuuksista kuljettajien ominai- suuksiin (Hanley & Forkenbrock 2004). Ensimmäiset ajoneuvopituuden ja ohitusten vä- listä riippuvuutta selvittäneet tutkimukset ovat olleet kenttätutkimuksia todellisissa lii- kennetilanteissa. 1970- ja 1980-luvuilla tehtyjen kenttätutkimusten jälkeen ajoneuvojen ominaisuudet ovat kehittyneet huomattavasti, joten sen aikaiset tulokset eivät välttämättä kuvaa nykytilaa oikein. Tietotekniikan kehittyessä erilaiset simulaatiotutkimukset ovat yleistyneet pääasiallisena tutkimusmuotona. Simuloinnit eivät kuitenkaan välttämättä pysty toistamaan liikennevirran, ajoneuvojen ja kuljettajien ominaisuuksissa esiintyvää satunnaisvaihtelua riittävän tarkasti. Niinpä modernit kenttätutkimukset HCT-ajoneuvo- jen vaikutuksesta ohituksiin voidaan katsoa tarpeellisiksi. Tällaista tutkimusta on viime vuosina tehty lähinnä Ruotsissa (Andersson et al. 2011), mutta tutkijoiden mukaan tutki- musaineisto on ollut verrattain suppea laajempien johtopäätösten vetämiseksi.

#### **4.3.3 Muita HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia**

Tavallista painavampia ja pidempiä yhdistelmäajoneuvoja on tutkittu myös monista muista kuin liikennevirran ominaisuuksien näkökulmasta. Muun muassa HCT-ajoneu- voyhdistelmien vaikutuksia tiestöön, kuljetustalouteen, muihin liikennemuotoihin, ympä- ristöön ja logistiikkaan sekä HCT-ajoneuvoihin liittyvää ajoneuvotekniikkaa on tutkittu. Myös HCT-ajoneuvojen tulevaisuudennäkymiä ja potentiaalia erilaisiin käyttötarkoituk- siin on selvitetty. Koska tämän tutkimuksen aiheena ovat nimenomaan HCT-ajoneuvojen vaikutukset liikennevirtaan, ei muista näkökulmista tehtyjen tutkimusten tarkempaa esit- telyä ole katsottu tarpeelliseksi. Tässä aliluvussa on kuitenkin lyhyesti mainittu joitakin merkittäviä HCT-ajoneuvoihin liittyviä tutkimuksia, jotta lukijat voivat niin halutessaan löytää helposti myös muista näkökulmista tehtyjä tutkimuksia tavallista suurempiin ajo- neuvoyhdistelmiin liittyen.

HCT-ajoneuvojen määrä on kasvussa, sillä niiden avulla tieliikennekuljetusten ympäris- töystävällisyyttä ja taloudellisuutta voidaan parantaa. HCT-ajoneuvojen määrän lisäänty- minen saattaa kuitenkin siirtää kuljetuksia rautateiltä maanteille, mikä puolestaan saattaa aiheuttaa tavoiteltujen ympäristö- ja taloudellisuushyötyjen pienenemistä, kun liikenne- järjestelmää katsotaan kokonaisuutena. Gröndahl (2012) on tutkinut HCT-kuljetusten hyötyjä ja haittoja tavallisiin maantiekuljetuksiin sekä rautatiekuljetuksiin nähden erityi- sesti ympäristövaikutusten ja kuljetuskustannusten kannalta. Mellin ja Ståhle (2010) ovat puolestaan tutkineet pidempien ja painavampien maantie- ja rautatieajoneuvojen liiketoi- mintaympäristöä ja analysoineet HCT-kuljetusten tulevaisuudennäkymiä sekä sitä, mil- laisille ajoneuvoille on todennäköisesti tarvetta 2030-luvulla. Ye ja Shen (2014) tutkivat



HCT-ajoneuvojen potentiaalia intermodaalikuljetuksissa vertailemalla normaalilla ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetuksen ja rautatiekuljetuksen muodostamaa intermodaalikuljetusta, HCT-ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetuksen ja rautatiekuljetuksen muodostamaa intermodaalikuljetusta sekä tavallisella ajoneuvoyhdistelmällä suoritettua maantiekuljetusta. Ilgner ja Benrick (2014) puolestaan tutkivat HCT-ajoneuvojen potentiaalia kuljetusten tehostamiseen kahden ruotsalaisen esimerkkiyrityksen tapauksessa.

Raskaiden ajoneuvojen kokoa voidaan säädellä lainsäädännössä eri tavoilla. Yleinen tapa on määritellä suurimmat sallitut mitat ja massat täsmällisesti. Australiassa, Uudessa-Seelannissa ja Kanadassa tarkkoja enimmäismittoja ja -massoja ei kuitenkaan ole määritelty, vaan käytössä ovat suorituskyykyyn perustuvat standardit (Performance Based Standards). Laissa voidaan edellyttää tiettyjen toiminnallisten kriteerien, kuten esimerkiksi tarpeeksi pienen kääntösaiteen tai akselikuormituksen täyttämistä, mutta ajoneuvojen valmistajat voivat itse suunnitella, miten lain edellyttämä kriteeri täytetään. Suorituskyykyyn perustuvien standardien käytöllä pyritään joustavuuteen ja uusien, innovatiivisten ratkaisujen löytämiseen. Kharrazi et al. (2015) ovat kehittäneet suorituskyykyyn perustuvia standardeja Ruotsissa käyttöön otettaviksi.

Suomessa HCT-ajoneuvoyhdistelmistä on valmistunut vielä verrattain vähän tutkimuksia. Korpilahti ja Venäläinen (2015) ovat tehneet Työ- ja elinkeinoministeriölle esiselvityksen HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksesta puutavarakuljetusten tehostamisessa. Selvityksessä on käyty läpi puukuljetusten logistiikkaa Suomessa sekä kuljetusten vaikutuksia muun muassa turvallisuudelle ja infrastruktuurille. Lisäksi on vertailtu erilaisia HCT-konsepteja puutavaran kuljettamiseksi ja laadittu näiden pohjalta johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia HCT-kuljetuksille Suomessa. Saarenketo et al. (2012) puolestaan tutkivat erilaisten ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia tiestölle Kaunisvaaran rautamalmikaivoksen kuljetusjärjestelmän kehittämiseksi ja arvioimiseksi. Lehtinen (2015) tutki diplomityössään puoliperävaunun vetoautosta, puoliperävaunusta, dollystä ja toisesta puoliperävaunusta muodostetun HCT-ajoneuvoyhdistelmän epälineaarista sivuttaisdynamiikkaa liukkaissa olosuhteissa. Simuloinneilla suoritettua tutkimuksessa havaittiin, että liukkaissa olosuhteissa ja korkeilla ajonopeuksilla kyseinen ajoneuvoyhdistelmätyyppi on suhteellisen epästabiili.

Jo valmistuneiden tutkimusten lisäksi Suomessa on tällä hetkellä tekeillä joitakin HCT-ajoneuvoyhdistelmiä koskevia tutkimuksia. Oulun yliopistossa tutkitaan puutavarakuljetuksissa käytettävien HCT-yhdistelmien ajostabiliteettia verrattuna 60- ja 76-tonnisten puutavarayhdistelmien stabiliteettiin. Tutkimustietoa kerätään mittauksilla niin tie- kuin suljetuilla alueilla, simulaatioilla sekä keräämällä kuljettajien kokemuksia. Oulun yliopiston tutkimuksessa tutkitaan myös muun muassa renkaiden kulumista ja tie- ja siltarasiuksia. Lisäksi Metsäteho ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto ovat aloittaneet tutkimuksen, jossa muun muassa mallinnetaan HCT-terminaalien käyttöä ja vaikutusta puutavaran kokonaislogistiikkaan. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan muun muassa polttoaineenkulutusta ja päästöjä. (Lahti & Tantt 2016.)

## 5 Tutkimusmateriaalin kerääminen ja analysointi

### 5.1 Esiselvitys mahdollisista tutkimuskohteista

Aalto-yliopiston tutkimusprojekti HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksista liikennevirtaan alkoi esiselvityksellä, joka suoritettiin alkukesän 2014 ja loppukesän 2015 välisenä aikana. Esiselvityksessä muun muassa kartoitettiin tavallista suuremmille ajoneuvoyhdistelmille poikkeusluvan saaneita tai lähitulevaisuudessa saavia yrityksiä sekä näiden valmiuksia tutkimusyhteistyöhön. Esiselvityksessä todettiin, että kesäkuussa 2015 Suomessa oli neljä kuljetusyritystä, joille Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi oli myöntänyt poikkeusluvan tavallista suuremmilla ajoneuvoyhdistelmillä liikennöintiin: konttikuljetuksiin erikoistuneelle Speed Oy:lle oli myönnetty lupa neljälle HCT-ajoneuvoyhdistelmälle merikonttien kuljettamiseen Etelä-Suomessa Helsingin Vuosaaren ja Kotkan Mussalon satamista muun muassa Tampereen, Lahden ja Lappeenrannan seuduille. Valkealaiselle Orpe Kuljetus Oy:lle oli puolestaan myönnetty poikkeuslupa raakapuunkuljetukseen tarkoitetulle HCT-yhdistelmälle Saimaan ympäristön metsäteollisuuslaitosten ja puutavaterminaalien väliseen liikenteeseen. Raakapuun kuljetukseen erikoistuneelle Ketosen Kuljetus Oy:lle oli myönnetty lupa HCT-ajoneuvolla liikennöimiseen Lapissa. Mikko Niskala Oy:lle oli puolestaan myönnetty poikkeuslupa Keskon päivittäistavaroiden kuljetukseen HCT-ajoneuvoyhdistelmällä Vantaan ja Kempeleen välillä. Edellä mainittujen yritysten HCT-ajoneuvoyhdistelmät olivat esiselvityksen valmistuessa kesällä 2015 liikenteessä lukuun ottamatta Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmää, joka odotti valmistamistaan ja aloitti liikennöinnin lokakuussa 2015. Edellä mainittujen poikkeusluvan saaneiden yritysten lisäksi Trafin käsittelyssä oli useita muita poikkeuslupaa hakevia yrityksiä.

Tutkimuskohteiden valintaa hankaloitti se, ettei esiselvitysvaiheen aikana ollut selvää, mitkä yritykset tulisivat saamaan poikkeuslupia ja millä aikataululla poikkeuslupia myönnettäisiin. Esiselvitysvaiheessa esimerkiksi suunniteltiin yhdeksi tutkimuskohteeksi Itä-Suomessa toimivaa, raakapuun kuljetukseen poikkeuslupaa hakenutta yritystä, jolle Trafi ei kuitenkaan lopulta myöntänyt poikkeuslupaa. Niinpä tutkimuskohteet valittiin lopulta niiden toimijoiden joukosta, joille poikkeuslupa oli esiselvitysvaiheen päättyessä jo myönnetty. Tutkimuksen kohteiksi valittiin kolme kuljetusyritystä ja reittiä: Orpe Kuljetus Oy:n ja Ketosen Kuljetus Oy:n raakapuunkuljetukset sekä Mikko Niskala Oy:n päivittäistavarakuljetukset. Valinnan tärkeimpinä perusteina toimivat kyseisten yritysten maantieteellinen sijoittuminen monipuolisesti eri puolille Suomea, eroavaisuudet yritysten käyttämien HCT-ajoneuvoyhdistelmien välillä sekä HCT-yhdistelmillä liikennöitävien reittien monipuolisuus ja oletettu mielenkiintoisuus tutkimuksen aihepiirin kannalta. Merikonttien kuljettamiseen luvan saaneita HCT-ajoneuvoyhdistelmiä ei valittu tutkimuskohteiksi, sillä niiden reiteillä oli paljon 2+2-kaistaisia tieosuuksia, joita ei nähty tutkimuksen kannalta yhtä mielenkiintoisiksi kuin kaksikaistaisia tieosuuksia.

Tutkimuksen kannalta olennaista oli myös löytää kullekin HCT-ajoneuvoyhdistelmälle vastaavalla reitillä liikennöivä normaalikokokoinen verrokkiyhdistelmä. Ketosen Kuljetus Oy:n ja Mikko Niskala Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmien verrokki ajoneuvoiksi saatiin normaalikokoiset yhdistelmäajoneuvot yritysten omista kalustoista. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkiyhdistelmäksi saatiin puolestaan Kuljetus Szeponiak Oy:n pääasiassa puuhakkeita kuljettava yhdistelmäajoneuvo. Tutkimuksen kohteeksi valitut ajoneuvoyhdistelmät ja reitit on esitetty tiivistetysti kuvassa 5.1. Tarkempi yritys- ja reittikohtainen kuvaus tutkimuskohteista on esitetty luvuissa 5.2.1–5.2.3. Tutkimusmateriaalin keräämisessä käytetty tutkimuslaitteisto on esitetty luvussa 5.3 ja tutkimusmateriaalin analysointimenetelmää on käsitelty luvussa 5.4.

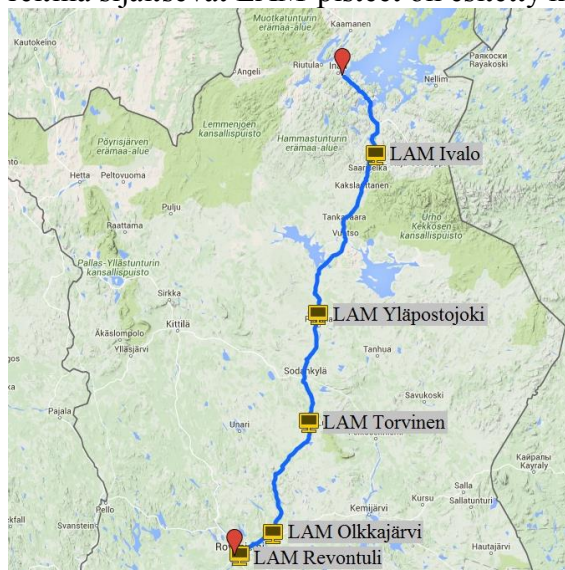


Kuva 5.1. Tutkimukseen valitut yritykset, reitit ja ajoneuvoyhdistelmät. Ylemmän rivin ajoneuvoyhdistelmät ovat HCT-yhdistelmiä ja alemman rivin yhdistelmät niiden normaalkokoisia verrokkiyhdistelmiä.

## 5.2 Tutkimuskohteet

### 5.2.1 Ketosen Kuljetus Oy

Ketosen Kuljetus Oy on kemijärveläinen yritys, joka kuljettaa pääasiassa Metsähallituksen, mutta myös Metsä Groupin ja Stora Enson raakapuuta Lapin alueella (Metsäteho 2015, Ketosenliikenne.fi 2016). Yritys sai maaliskuussa 2015 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeusluvan 33 metriä pitkälle ja enintään 104 tonnia painavalle HCT-yhdistelmääjoneuvolle, jolla liikennöinti aloitettiin lokakuussa 2015. HCT-yhdistelmällä liikennöinti on sallittu reitillä Inari–Rovaniemi–Kemi. (Trafi 2016b.) Reitien pohjoispäässä niin sanotut metsäpään autot noutavat puuta metsästä ja syöttävät sitä kuudelle kuormanvaihtopaikalle, joissa puu siirretään HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuljetettavaksi (Lapin Tuli Oy 2015). Pääasiassa puuta kuljetetaan Rovaniemellä sijaitsevaan puutavaraterminaaliiin, josta puu kuljetetaan edelleen rautateitse Kemissä sijaitseviin tuotantolaitoksiin. Pohjoiseen yhdistelmällä ajetaan tyhjänä. Inarin ja Rovaniemen välinen reitti sekä reitillä sijaitsevat LAM-pisteet on esitetty kuvassa 5.2.



Kuva 5.2. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmä kuljettaa raakapuuta pääasiassa Inarista Rovaniemelle valtatiellä 4. Kuvaan on merkitty myös reitillä sijaitsevat LAM-pisteet.

Ketosen Kuljetus Oy:n kuvassa 5.3 esitetty HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu neljääkselisestä vetoautosta, neljääkselisestä puoliperävaunusta ja viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Vetoauto on 730 hevosvoimaisella moottorilla varustettu Scania ja perävaunut ovat suomalaisen Jykin ja ruotsalaisen MST:n valmistamia. Vetoauton ensimmäinen ja neljäs akseli ovat ohjaavia ja puoliperävaunun neljäs akseli on ohjautuva. Autossa on vetävä teli, eli sekä toisen että kolmannen akselin pyörät ovat vetäviä. Ajoneuvoyhdistelmän ohjaavat ja ohjautuvat akselit on varustettu yksikköpyörin, muilla akseleilla käytetään paripyöriä. Kuormattuna enintään 104 tonnia painava yhdistelmä on painavin Suomessa tällä hetkellä liikenteessä olevista HCT-ajoneuvoyhdistelmistä. (Metsähallitus 2015.)



*Kuva 5.3. Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvo on 33 metriä pitkä ja sen suurin sallittu kokonaismassa on 104 tonnia. Yhdistelmä koostuu neljääkselisestä vetoautosta, neljääkselisestä puoliperävaunusta sekä viisiakselisestä varsinaisesta perävaunusta.*

Vertailumateriaalia Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään yrityksen normaalikokoisella, kuvassa 5.4 näkyvällä puutavara-ajoneuvoyhdistelmällä. Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu massa on 76 tonnia ja ajoneuvoyhdistelmän pituus vaihtelee pituudeltaan muuttuvan, niin sanotun jatkettavan perävaunun vuoksi noin 22 ja 25 metrin välillä. Verrokkiyhdistelmä koostuu Scania-merkkisestä, 620 hevosvoiman moottorilla varustetusta neljääkselisestä kuorma-autosta sekä viisiakselisestä varsinaisesta perävaunusta. Toisin kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmä, verrokkiyhdistelmä noutaa kuljetettavat raakapuut useimmiten suoraan metsästä. Pääosa verrokin reitistä on kuitenkin HCT-yhdistelmän kanssa yhtenevää, sillä tutkimuksen aikana käytetyt puunnoutopaikat ovat sijainneet yleensä HCT-yhdistelmän käyttämän kuormanvaihtopaikan pohjoispuolella ja myös verrokki on kuljettanut puuta pääasiassa Rovaniemen puutavaraterminaaliin.



*Kuva 5.4. Vertailumateriaalia Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään sen kanssa pääosin samalla reitillä liikennöivällä, maksimissaan noin 25 metriä pitkällä ja 76 tonnia painavalla kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun ajoneuvoyhdistelmällä. Kuvassa perävaunu on lyhyessä muodossa, jolloin yhdistelmän pituus on noin 22 metriä.*



Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämä reitti Ivalon ja Rovaniemen välillä valtatiellä neljä on pääasiassa yksiajorataista ja kaksikaistaista. Reitillä on noin kolmen ja puolen kilometrin mittainen 2+2-kaistainen osuus Rovaniemen keskustan pohjoispuolella ja lisäksi noin neljäkymmentä kilometriä Sodankylän eteläpuolella sijaitsee kahden kilometrin mittainen neljäkaistaisen ajoradan omaava Vuojärven varalaskupaikka. Lisäksi reitillä on taajamaosuuksia muun muassa Rovaniemellä ja Sodankylässä. Mikäli puuta noudetaan Ivalon taajaman pohjoispuolelta, ajetaan myös Ivalon taajama-alueen läpi. Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä suurimmat liikennemäärät ovat Rovaniemen 2+2-kaistaisella tieosuudella, jossa keskimääräinen vuorokausiliikenne on suurimmillaan noin 21 000 ajoneuvoa. Pohjoiseen ajettaessa liikennemäärä laskee nopeasti ollen valtatie neljän ja Kemijärventien risteyksen kohdalla noin 3 300 ajoneuvoa. Edelleen pohjoiseen jatkettaessa liikennemäärä laskee noin 1 300 ajoneuvon vuorokaudessa, kunnes se Sodankylän taajamassa nousee noin 5 600 ajoneuvon vuorokaudessa. Tämän jälkeen liikennemäärä laskee alimmillaan noin tuhanteen ajoneuvon vuorokaudessa, kunnes Ivalon taajamassa liikennemäärä jälleen nousee noin 5 700 ajoneuvon vuorokaudessa. Kaikkiaan voidaan siis sanoa, että keskimääräiset liikennemäärät ovat reitin linjaosuuksilla melko pieniä. (Liikennevirasto 2015b.)

Ivalon ja Rovaniemen välisellä reitillä raskaiden ajoneuvojen osuus liikennemäärästä vaihtelee siten, että Rovaniemen kohdalla sijaitsevassa Revontulen LAM-pisteessä niiden osuus on pienimmillään eli 5,7 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 4,7 % koko vuoden liikennemäärästä, kun taas Sodankylän ja Ivalon välillä sijaitsevassa Yläpostojoen LAM-pisteessä raskaiden ajoneuvojen osuus on suurimmillaan ollen 16,0 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 13,2 % koko vuoden liikennemäärästä. Revontulen LAM-pistettä lukuun ottamatta raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä on kaikissa reitillä sijaitsevilla LAM-pisteissä yli kymmenen prosenttia. Reitillä sijaitsevat LAM-pisteet on merkitty kuvaan 5.2. (Liikennevirasto 2015a.)

Tavallista pidemmän ja painavamman ajoneuvoyhdistelmän liikennöitävyyden kannalta kriittisiä infrarakenteita ovat muun muassa liittymät ja kiertoliittymät sekä sillat. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä välillä Ivalo-Rovaniemi sijaitsee viisi kiertoliittymää: kaksi Sodankylässä ja kolme Ivalon taajamassa. Kaikki reitin kiertoliittymät ovat yksikaistaisia. Ennen liikennöinnin aloittamista pitkän yhdistelmän ajouria kyseisissä kiertoliittymissä sekä Rovaniemen liittymissä tutkittiin simuloinnein, joissa todettiin, että 33-metriä pitkällä ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinti niissä on mahdollista (Metsähallitus 2013). Reitin ainoa poikkeusjärjestely on tehty Sodankylän taajaman eteläpäässä sijaitsevalla, noin 80 metrin pituisella Jeesiöjoen sillalla, jonka kumpaankin päähän on asennettu liikennevalot, sillä heikkokuntoiselle sillalle ei haluta päästää muita ajoneuvoja samaan aikaan kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän kanssa. Kun kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä lähestyy siltaa pohjoisesta, sen kuljettaja sytyttää vastakkaisen suunnan liikenteelle punaisen opastinkuvan. Kun HCT-yhdistelmä saapuu sillan pohjoispäähän, kuljettaja sytyttää myös sen takana ajaville ajoneuvoille punaisen opastinkuvan (Lapin Tuli Oy 2015). Kuten kuvasta 5.5 nähdään, HCT-yhdistelmä ylittää sillan sen keskellä ajaen, jolloin siltarakenteisiin kohdistuva kuormitus jakautuu mahdollisimman tasaisesti. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ylitettyä sillan opastimet siirtyvät lepotilaan.



*Kuva 5.5. Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvo ylittämässä kauko-ohjaimella hallittavilla liikennevaloilla varustettua Jeesiöjoen siltaa Sodankylässä. Opastinkuva on punainen sekä vastaan tulijoille että HCT-yhdistelmän perässä ajaville ajoneuvoille, sillä heikkokuntoiselle sillalle ei päästetä muita ajoneuvoja samaan aikaan tavallista painavamman ajoneuvoyhdistelmän kanssa.*

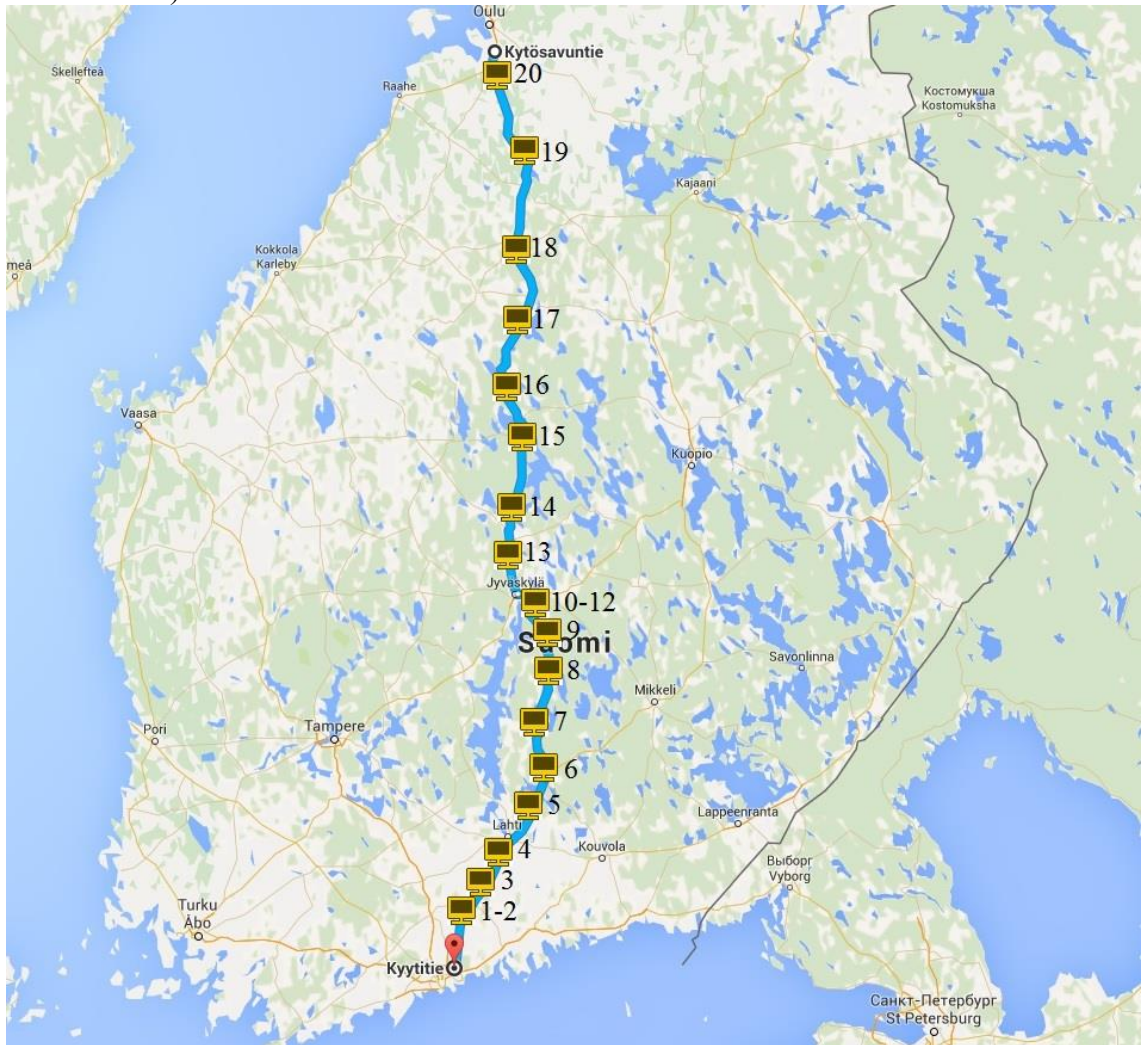
Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitin pohjoispää on tunturialueella, jossa erityisesti raskaiden ajoneuvojen nopeusvaihtelut ovat merkittäviä tien mäkisyyden vuoksi. Reitin vaativin nousu on Saariselän pohjoispuolella sijaitseva Magneettimäki, joka nousee ylös kuormattuna. Tie nousee yhtäjaksoisesti noin 3,6 kilometrin matkalla noin 160 metriä keskimääräisen pituuskaltevuuden ollessa noin viisi prosenttia (Lapin Tuli Oy 2015). Lupahakemusvaiheessa tavallista painavamman ajoneuvoyhdistelmän mäennousukykyä tutkittiin simuloimalla ajoneuvoyhdistelmän nopeutta Magneettimäessä. Simulointien mukaan 104-tonnisen ja 730 hevosvoiman moottorilla varustetun ajoneuvoyhdistelmän nopeus laskee tien jyrkimmässä kohdassa noin 20–30 kilometrin tuntinopeuteen. Simulointien mukaan raskaamman ajoneuvoyhdistelmän nopeus Magneettimäessä ei merkittävästi poikennut kokonaismassaltaan kevyempien ja moottoriteholtaan heikompien normaalikokoisten puutavara-autojen nopeuksista. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämistä kuormanvaihtopaikoista eteläisin on sijoitettu Magneettimäen eteläpuolelle, jolloin sitä käytettäessä reitillä ei ole merkittäviä mäkisiä. (Metsähallitus 2015).

Koska Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän liikennöimä reitti on verrattain pitkä ja tien korkeus merenpinnasta vaihtelee melko runsaasti, voivat keliolosuhteet reitillä vaihdella merkittävästi. Ominaista reitille on lisäksi pohjoisen sijainnin myötä talvien pitkä kesto: terminen talvi, eli aika, jona vuorokauden keskilämpötila pysyy pääsääntöisesti nollan alapuolella, kestää alueella keskimäärin 170–190 vuorokautta (Ilmatieteenlaitos.fi 2016). HCT-ajoneuvoyhdistelmä onkin varustettu liukkaiden talvikelien varalta hiekoittimella ja On Spot -ketjunheittolaitteella. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmän vetävillä aksleilla ja ensimmäisellä ohjaavalla akselilla käytetään talviaikana nastallisia renkaita. Ilmatieteenlaitoksen erittäin liukkaaksi määrittelemällä kelillä ajoneuvoyhdistelmällä ei liikennöidä. (Hievanen 2015, Metsähallitus 2015.) Oman erityispiirteensä Lapissa liikennöimiselle tuo myös alueella harjoitettava poronhoito, sillä tiealueilla ja niiden läheisyydessä liikkuvien eläinten havaitseminen vaatii kuljettajilta erityistä tarkkaavaisuutta. Vuosittain Suomessa tapahtuu noin 3500–4000 porokolaria, joista suurin osa pimeiden ja liukkaiden talvikuukausien aikana (Kinnunen & Simonen 2011).

Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottaman tutkimusmateriaalin analysoinnista saadut tulokset on esitetty luvussa 6 ja tuloksia on tulkittu luvussa 7. Johtopäätökset on esitetty luvussa 8.

### 5.2.2 Mikko Niskala Oy

Mikko Niskala Oy on hankiputaalainen kuljetusyritys, jonka toimialaan kuuluvat kansainväliset maantiekuljetukset sekä sopimuskuljetukset kotimaassa. Valtaosa yrityksen kotimaan kuljetuksista koostuu Keskon logistiikkayhtiö Keslogin päivittäistavarakaupan kuljetuksista. Yhteistyössä kuorma-autovalmistaja Volvon ja perävaunuja ja päällirakenteita valmistavan VAK Oy:n kanssa Mikko Niskala Oy ja Keslog selvittivät mahdollisuuksia päivittäistavarakuljetusten tehostamiseen tavallista suuremman ajoneuvoyhdistelmän avulla. Keväällä 2015 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi myönsikin Mikko Niskala Oy:lle poikkeusluvan 34,5 metriä pitkällä ja enintään 90 tonnia painavalla ajoneuvoyhdistelmällä liikennöintiin Keslogin Vantaan päävarastojen ja Oulun jakelualueen Kempeleen terminaalin välillä kuvan 5.6 mukaisella reitillä. Liikennöinti HCT-yhdistelmällä aloitettiin maaliskuussa 2015. (OP Oulun yrityslehti 2015, Ksml.fi 2015, Kauppa-lehti.fi 2015.)



Kuva 5.6. Mikko Niskala Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmällä kuljetetaan Keslogin päivittäistavaroita Vantaan ja Kempeleen välillä Valtatiellä 4. Kuvaan on merkitty myös reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden sijainnit. (Kuva muokattu Googlen reittiohjeista HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitille.)

Mikko Niskala Oy:n kuvassa 5.7 näkyvä HCT-yhdistelmä koostuu 750-hevosvoimaisesta, kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä siihen liitetystä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Vetoauton on valmistanut Volvo ja perävaunut ovat suomalaisen VAK Oy:n valmistamia. Yhdistelmän kokonaispituus on 34,5



metriä ja sen suurin sallittu massa on 90 tonnia. Ajoneuvoyhdistelmän perävaunuihin voidaan lastata rullakkoita kahteen kerrokseen, ja kokonaisuudessaan yhdistelmällä voidaan kuljettaa 189 rullakkoa kerralla. Tämä on yli kaksinkertainen määrä verrattuna normaali-kokoiseen, 25,25 metriä pitkään ajoneuvoyhdistelmään, johon mahtuu 90 rullakkoa yhteen kerrokseen lastattuna. Ajoneuvoyhdistelmällä ajetaan yksi noin 1 200 kilometrin pituinen edestakainen matka vuorokaudessa: Vantaalta Kempeleeseen täysiä rullakkoita ja paluusuuntaan tyhjiä. (OP Oulun yrityslehti 2015, Ksml.fi 2015, Kauppalehti.fi 2015.)



*Kuva 5.7. Mikko Niskala Oy:n liikennöimä HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Yhdistelmä on 34,5 metriä pitkä ja sen suurin sallittu kokonaismassa on 90 tonnia.*

Vertailumateriaalia Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään yrityksen normaali-kokoisella, kuvassa 5.8 näkyvällä ajoneuvoyhdistelmällä. Verrokkiyhdistelmän pituus on 25,25 metriä ja suurin sallittu kokonaismassa 64 tonnia. Myös verrokkiyhdistelmällä kuljetetaan Keskon päivittäistavaroita Vantaalta Oulun alueelle. Reitti on HCT-yhdistelmän reitin kanssa pääosin yhtenevä, mutta koska verrokkiyhdistelmä suorittaa keräilyä ja jakelua myös muiden kohteiden kuin Vantaan ja Kempeleen varastojen välillä, on reiteissä jonkin verran eroa. Lisäksi eroa on liikennöintitiheydessä: verrokkiyhdistelmällä ajetaan joka toinen päivä Vantaalle ja joka toinen päivä Ouluun, kun taas HCT-yhdistelmällä tehdään yksi edestakainen matka päivittäin.



*Kuva 5.8. Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän verrokkiyhdistelmänä toimii yrityksen 25,25 metriä pitkä ja enintään 64 tonnia painava kolmeakselisen kuorma-auton ja viisiakselisen varsinaisen perävaunun yhdistelmä.*

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmät kulkevat Vantaan ja Kempeleen välillä valtaatiellä neljä, jolla on sekä kaksikaistaisia maantieosuuksia, lyhyitä ohituskaistallisia osuuksia että nelikaistaisia moottoritieosuuksia. Vantaan ja Heinolan välisellä, noin 130 kilometrin mittaisella tieosuudella tie on 2+2-kaistaista moottoritietä. Lisäksi Jyväskylän kohdalla on noin kymmenen kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus. Pääosa Heinolan ja Kempeleen välisestä reitistä on kaksikaistaista, mutta välillä on myös useita 2+1- ja 2+2-kaistaisia ohituskaistallisia osuuksia. Liikennemäärät ovat suurimmillaan reitin eteläpäässä, sillä Kehä III:n kohdalla valtatie neljän keskimääräinen liikennemäärä on yli 52 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Pohjoiseen ajettaessa liikennemäärät laskevat hiljalleen ollen esimerkiksi Mäntsälän kohdalla noin 24 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Moottoritieosuuden pohjoispäässä Heinolan kohdalla liikennemäärä on noin 16 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, ja tien muututtua kaksikaistaiseksi liikennemäärä laskee noin 7 000 ajoneuvon vuorokaudessa. Liikennemäärä laskee hiljalleen, kunnes Jyväskylän 2+2-kaistaisella tieosuudella nousee jälleen noin 30 000 ajoneuvon vuorokaudessa. Jyväskylän ja Kempeleen välillä tien keskimääräinen liikennemäärä vuorokaudessa vaihtelee noin 3 000 ja 7 000 ajoneuvon välillä ollen suurimmillaan Viitasaaren ja Äänekosken kohdilla. (Liikennevirasto 2015b.)

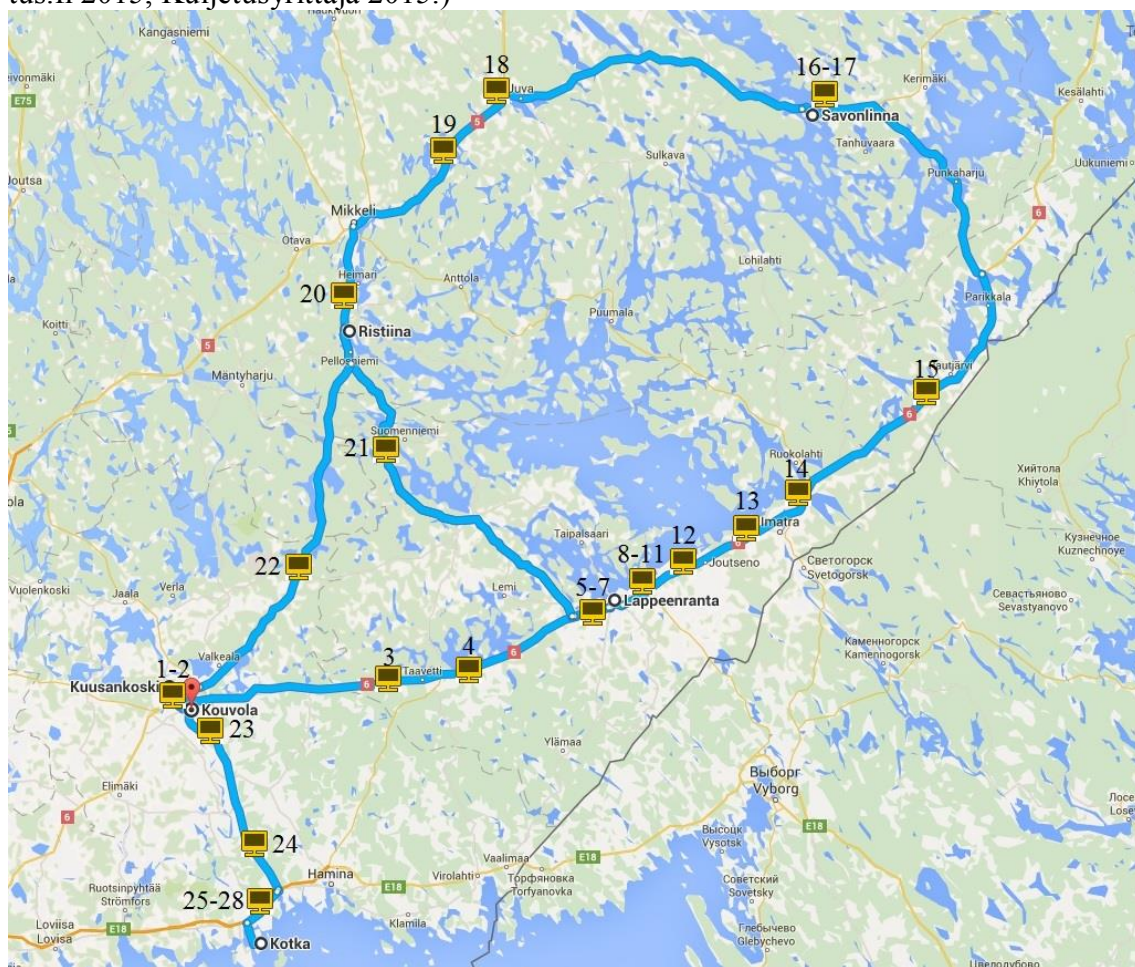
Raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus edellä esitetystä liikennemäärästä on verrattain suuri: keskimääräisestä arkivuorokausien liikennemäärästä raskaat ajoneuvot muodostavat yli 10 prosenttia lähes kaikissa reitillä sijaitsevista LAM-pisteissä, jotka on merkitty kuvaan 5.6. Koko vuoden liikennemäärästä raskaiden ajoneuvojen osuus on yli kymmenen prosenttia yhteensä kolmessatoista LAM-pisteessä. Pienimmillään raskaiden ajoneuvojen osuus on kuvan 5.6 LAM-pisteessä numero 12 eli Palokan LAM-pisteessä (7,6 % arkipäivien liikennemäärästä ja 6,3 % koko vuoden liikennemäärästä) ja suurimmillaan LAM-pisteessä numero 16 eli Viitasaaren LAM-pisteessä (22,7 % arkipäivien liikennemäärästä ja 16,8 % koko vuoden liikennemäärästä). Viitasaaren LAM-pisteen lisäksi reitillä on neljä muuta LAM-pistettä (kuvan 5.6 LAM-pisteet 8, 9, 17 ja 19 eli Joutsa, Toivakka, Pyhäjärvi ja Ala-Temmes), joissa raskaat ajoneuvot muodostavat vähintään 20 % arkivuorokausien liikennemäärästä. (Liikennevirasto 2015a.)

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvoyhdistelmien reitillä on linjaosuuksien välillä useita liittymiä ja kiertoliittymiä. Reitin pohjoisin kiertoliittymä on tiet E8 ja E75 yhdistävä pääosin kaksikaistainen kiertoliittymä Limingassa. Etelään ajettaessa seuraavat kolme kiertoliittymää sijaitsevat Kärsämäen taajamassa. Kyseiset kiertoliittymät ovat yksikaistaisia. Seuraava kiertoliittymä sijaitsee Vaajakoskella ja on pääosin kaksikaistainen. Reitin eteläisin kiertoliittymä sijaitsee noin 2,5 kilometriä Vaajakosken kiertoliittymän eteläpuolella. Kanavuoren kiertoliittymäksi kutsuttu kiertoliittymä on pääosin yksikaistainen. Reitillä ei ole jouduttu tekemään erikoisjärjestelyitä tavallisia ajoneuvoyhdistelmiä pidemmän ja painavamman HCT-yhdistelmän vuoksi. Lähes samalla reitillä Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmän kanssa liikennöi toinenkin HCT-ajoneuvoyhdistelmä, Oulun autokuljetuksen 32 metriä pitkä ja enintään 88 tonnia painava Green Doubleksi nimetty yhdistelmä. (Hs.fi 2015, Ksml.fi 2015, Traf.fi 2016b.)

Mikko Niskala Oy:n ajoneuvojen tuottaman tutkimusmateriaalin analysointi ei sisälly tähän diplomityöhön, vaan materiaali analysoidaan kevään ja kesän 2016 aikana ja tulokset tullaan julkaisemaan Aalto-yliopiston tutkimuksen tulokset kokonaisuudessaan sisältävässä kokonaisraportissa myöhemmin vuonna 2016.

### 5.2.3 Orpe Kuljetus Oy ja Kuljetus Szepaniak Oy

Orpe Kuljetus Oy on valkealainen kuljetusyritys, joka on erikoistunut metsäteollisuuden kuljetuksiin. Lisäksi yrityksen toimialaan kuuluvat erikoiskuljetukset sekä maanrakennuspalvelut. Pääasiassa Orpe Kuljetus Oy kuljettaa tukkipuuta Etelä-Suomen sahoille ja vaneritehtaille sekä kuitupuuta sellutehtaille. Yritys sai syksyllä 2014 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta poikkeusluvan noin 31 metriä pitkälle ja enintään 94 tonnia painavalle HCT-ajoneuvoyhdistelmälle, jolla liikennöidään Saimaan ympäristössä sijaitsevien metsäteollisuuden suuryritys UPM:n tuotantolaitosten ja terminaalien välillä kuvan 5.9 mukaisella reitistöllä pääasiassa valtateilla 5, 6, 7, 13, 14, ja 15. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kouvolaissa, Lappeenrannassa, Savonlinnassa ja Ristiinassa, ja puutavaran tuontiterminaali sijaitsee Kotkassa. Suomen ensimmäisellä raakapuun kuljetukseen valmistetulla HCT-ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinti aloitettiin marraskuussa 2014. (Orpekuljetus.fi 2015, Kuljetusyrittäjä 2015.)



Kuva 5.9. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmällä kuljetetaan puutavaraa UPM:n tuotantolaitosten ja terminaalien välillä Kaakkois- ja Itä-Suomessa. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kouvolaissa, Lappeenrannassa, Savonlinnassa ja Ristiinassa ja puutavaran tuontiterminaali sijaitsee Kotkassa. Kuvaan on lisätty reitillä sijaitsevien LAM-pisteiden sijainnit. (Kuva muokattu Googlen reittiohjeista edellä mainittujen paikkakuntien välille.)

Orpe Kuljetus Oy:n kuvassa 5.10 näkyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, neljääkselisestä puoliperävaunusta sekä viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. Yhdistelmän kokonaispituus on noin 31 metriä ja suurin sallittu massa 94 tonnia. Puoliperävaunun viimeinen akseli on tehty ohjautuvaksi, mikä parantaa ajoneuvoyhdistelmän kääntyvyysominaisuuksia. Vetoautona yhdistelmässä on 750 hevosvoio-



man moottorilla varustettu Volvo ja perävaunut on valmistanut Jyky. HCT-yhdistelmä liikennöi Saimaan ympäristössä sijaitsevien UPM:n tuotantolaitosten välillä siten, että tuotantolaitokset toimivat puutavaran välivarastoina. Metsästä voidaan kuljettaa tavallisilla ajoneuvoyhdistelmillä esimerkiksi kuitupuuta välivarastoon läheiselle vaneritehtaalle tai sahalle, josta puu kuljetetaan edelleen lopulliseen käyttökohteeseensa sellutehtaalle HCT-yhdistelmällä. Vastaavasti sellutehtaan välivarastosta voidaan paluukuormana kuljettaa tukkipuuta vaneritehtaan tai sahan käyttöön. Näin voidaan sekä tehostaa puutavaran keräilykuljetuksia metsästä että vähentää päätieverkolla liikkuvien raskaiden yhdistelmien määrää. (UPM.com 2014.)



*Kuva 5.10. Orpe Kuljetus Oy:n noin 31 metriä pitkä ja maksimimassaltaan 94-tonninen ajoneuvoyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, neljäakselisesta puoliperävaunusta ja viisiakselisesta varsinaisesta perävaunusta. (Orpekuljetus.fi 2014.)*

Vertailumateriaalia Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmälle kerätään Kuljetus Szepaniak Oy:n ajoneuvoyhdistelmällä, jolla kuljetetaan pääasiassa puuhaketta Itä- ja Kaakkois-Suomessa. Orpe Kuljetus Oy:llä on HCT-yhdistelmän lisäksi useita normaalikokoisia ajoneuvoyhdistelmiä, mutta niiden reitit poikkeavat HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitistä niin paljon, ettei niitä voitu käyttää tutkimuksessa verrokkiyhdistelminä. Sekä UPM:n että muiden toimijoiden hakkeita kuljettava Kuljetus Szepaniak Oy:n ajoneuvoyhdistelmä liikennöi sen sijaan osittain samalla reitistöllä Orpe Kuljetuksen HCT-yhdistelmän kanssa ja oli siten sopiva ajoneuvo vertailumateriaalin keräämiseen. Kuvassa 5.11 näkyvä Kuljetus Szepaniak Oy:n hakeyhdistelmä koostuu kolmeakselisesta puoliperävaunun vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta sekä kaksiakselisesta keskiakseliperävaunusta. Se poikkeaa siis konfiguraatioltaan muista tutkimuksessa käytetyistä vertailuyhdistelmistä. Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 68 tonnia ja yhdistelmän pituus on 25,25 metriä.



*Kuva 5.11. Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän vertailuyhdistelmänä tutkimuksessa toimii Kuljetus Szeponiak Oy:n haketta kuljettava yhdistelmäajoneuvo, joka koostuu kolmeakselisesta vetoautosta, kolmeakselisesta puoliperävaunusta ja kaksiakselisestä keskiakseliperävaunusta. Yhdistelmän pituus on 25,25 metriä ja maksimimassa 68 tonnia.*

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän käyttämä reitti on pääosin kaksikaistaista ja yksiajorataista tietä. Valtatiellä 6 on yhtenäinen noin 55 kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus, minkä lisäksi reitillä on lyhyempiä 2+2-kaistallisia osuuksia sekä useita ohituskaita- ja tieosuuksia. Valtatiellä 6 on lisäksi Kouvolan ja Taavetin välillä leveäkaistaisia tieosuuksia. Reitin suurimmat liikennemäärät ovat Mikkelin, Lappeenrannan ja Savonlinnan kohdilla, joissa liikennemäärät ovat noin 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät reitin linjaosuuksilla ovat kuitenkin selvästi alhaisempia vaihdellen noin tuhannen ja hieman alle kymmenen tuhannen ajoneuvon välillä. Liikennemääriltään vilkkaimpia tieosuuksia Orpe Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä ovat Kouvolan ja Lappeenrannan, Lappeenrannan ja Savonlinnan sekä Savonlinnan ja Mikkelin väliset tieosuudet, joilla liikennemäärä vaihtelee pääosin välillä 5 000–10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vähäisintä liikenne on puolestaan Ristiinan ja Lappeenrannan sekä Ristiinan ja Kouvolan välisillä tieosuuksilla, joilla liikennemäärä vaihtelee pääosin välillä 1 500–3 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikennemäärät ovat siis verrattain suuria reitin suurimpien kaupunkien läheisyydessä, mutta reitillä on myös melko vähäisen liikennemäärän omaavia linjaosuuksia. (Liikennevirasto 2015b.)

Orpe Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä sijaitsevat liikenteen automaattiset mittauspisteet on merkitty kuvaan 5.9. Raskaiden ajoneuvojen osuus reitin liikennemäärästä vaihtelee melko paljon sijainnista riippuen. Valtatiellä 6 Kouvolan ja Lappeenrannan välillä raskaiden ajoneuvojen osuus on kaikissa välillä sijaitsevilla LAM-pisteissä yli 15 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja yli 10 % koko vuoden liikennemäärästä. Suurimmillaan raskaiden ajoneuvojen osuus on kuvan 5.9 pisteessä numero kolme eli Somerharjun LAM-pisteessä, jossa raskaita ajoneuvoja on 22,9 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja 17,4 % koko vuoden liikennemäärästä. Lappeenrannasta itään jatkettessa raskaan liikenteen osuus on keskimäärin hieman alle 15 % arkivuorokausien liikennemäärästä ja hieman yli 10 % koko vuoden liikennemäärästä. Valtatiellä 14 Särkisalmen ja Juvan välillä LAM-pisteitä on vain kolme kappaletta (kuvan 5.9 pisteet 16–18). Niissä raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä vaihtelee välillä 4,5–8,7 %. Valtatiellä 5 raskaiden ajoneuvojen osuus liikennemäärästä on Nuutilanmäen LAM-pisteessä eli pisteessä numero 19 15,0 % arkivuorokausien liikenteestä ja 10,8 % koko vuoden liikenteestä. Mikkelistä etelään ajettaessa raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien

liikennemäärästä vaihtelee 12,1 ja 25,0 prosentin välillä valtateiden 13 ja 15 mittauspisteissä (kuvan 5.9 pisteet 20–22). Kouvolaan Kotkan satamaan johtavalla reitillä raskaan liikenteen osuus arkivuorokausien liikennemäärästä vaihtelee 11,8 ja 18,8 prosentin välillä. Voidaankin sanoa, että Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä raskaan liikenteen osuus liikennemäärästä nousee paikoin hyvin korkeaksi, mutta vaihtelu mittauspisteiden välillä on melko suurta. (Liikennevirasto 2015a.)

Orpe Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä on viisi kiertoliittymää, jotka kaikki sijaitsevat valtatiellä 14. Sekä Savonlinnan itä- että länsipuolella on kiertoliittymät, joista idänpuoleinen on pääosin kaksikaistainen ja lännenpuoleinen on yksikaistainen. Loput kolme kiertoliittymää sijaitsevat Juuan taajaman ja valtatie 5:n välisellä tieosuudella noin 3,5 kilometrin matkalla. Kyseiset kiertoliittymät ovat kaikki yksikaistaisia. Edellä mainittujen kiinteiden kiertoliittymien lisäksi Savonlinnan itäpuolella on tietönaikaiseen kiertotiehen liittyvä väliaikainen, yksikaistainen kiertoliittymä. Kiertoliittymien lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitillä on useita siltoja, mutta tavallista pidempi ja painavampi HCT-yhdistelmä voi liikennöidä niillä ilman erityisjärjestelyitä.

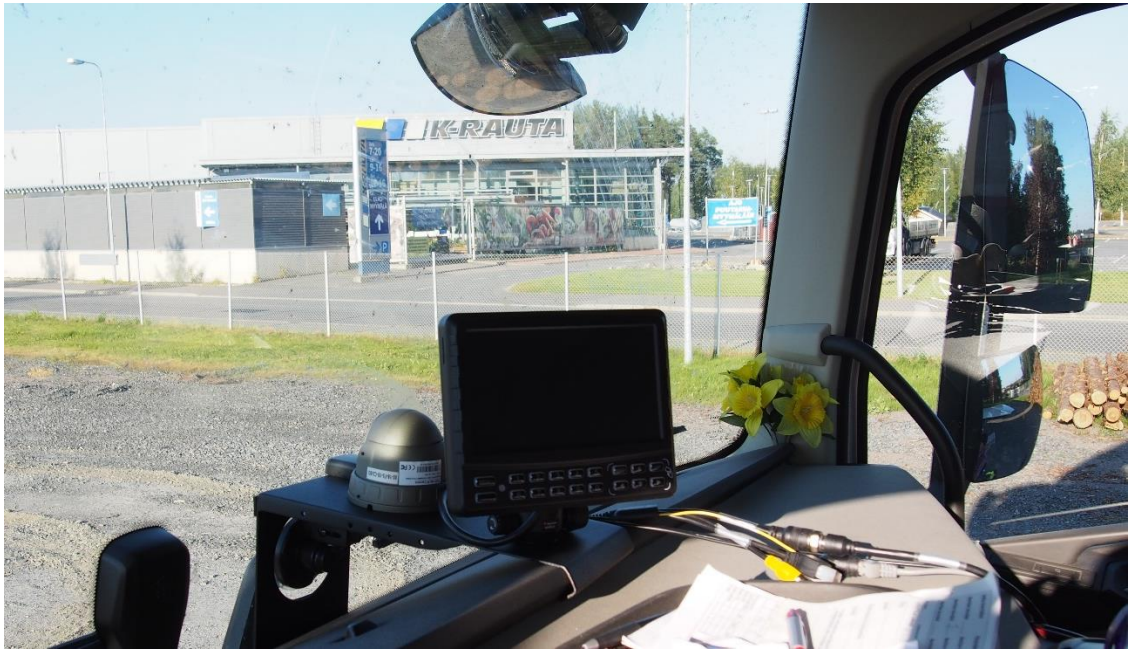
Orpe Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmän ja Kuljetus Szepaniak Oy:n verrokkiyhdistelmän tuottaman tutkimusmateriaalin analysointi ei sisälly tähän diplomityöhön, vaan materiaali tullaan analysoimaan kevään ja kesän 2016 aikana ja tulokset tullaan julkaisemaan Aalto-yliopiston tutkimuksen tulokset kokonaisuudessaan sisältävässä kokonaisraportissa myöhemmin vuonna 2016.

### **5.3 Tutkimuslaitteisto**

Kuhunkin tutkimuksessa käytetyistä ajoneuvoyhdistelmistä asennettiin identtinen tutkimuslaitteisto, joka koostui kolmesta videokamerasta, GPS-paikantimesta, näytöstä, videomateriaalin ja paikkatiedot tallentavasta keskusyksiköstä sekä edellä mainitut komponentit yhdistävästä kaapeloinnista. Kamerat sijoitettiin niin, että niiden tuottaman videomateriaalin avulla voidaan havainnoida ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvia asioita, kuten ohitustapahtumia ja jononmuodostusta. Lisäksi videokameroiden tarkoituksena oli mahdollistaa havaintojen tekeminen myös ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä erilaisissa liikennetilanteissa ja erilaisilla tieosuuksilla, kuten esimerkiksi liittymissä, kiertoliittymissä, liikkeellelähdoissä ja mäissä.

Eteenpäin kuvaava kamera (etukamera) sijoitettiin ajoneuvoyhdistelmien hyttiin mahdollisimman lähelle tuulilasia heijastusten välttämiseksi. Kamera kiinnitettiin kunkin ajoneuvon kojelaudan mittojen mukaan valmistettuun telineeseen, joka puolestaan kiinnittyi taakasaastaan kojelaudan reunaan ja etuosaan tuulilasiin imukupin avulla. Samaan telineeseen etukameran kanssa kiinnitettiin GPS-paikannin sekä näyttö, joka toisti kameroiden tuottamaa kuvaa reaaliaikaisesti. Näytön avulla kuljettajat pystyivät tarkkailemaan laitteiston toimintaa. Kuvassa 5.12 on esitetty etukameran ja näytön sijainti yhdessä ajoneuvoyhdistelmistä. Kuvassa 5.13 on puolestaan esimerkki etukameran tuottamasta kuvamateriaalista.





*Kuva 5.12. Etukamera, näyttö ja GPS-paikannin sijoitettiin kojelautaan ja tuulilasiin kiinnittyvään telineeseen.*



*Kuva 5.13. Esimerkki etukameran tuottamasta kuvamateriaalista.*

Ajoneuvoyhdistelmien kulkusuunnassa vasemmanpuoleista sivua kuvaava kamera (sivukamera) asennettiin ajoneuvoyhdistelmien ohjaamon ulkopuolelle ja kiinnitettiin Volvoissa kuljettajan oven yläreunaan, Scanian puutavara-ajoneuvoissa ohjaamon ja kuor-  
matilan väliseen alumiiniseen suojaseinään ja Mercedes Benzin valmistamassa hakey-  
hdistelmässä ohjaamon sivulla sijainneen tuulenohjaimen tukirakenteisiin. Kuhunkin ajo-  
neuvon sopiva sivukamerateline valmistettiin mittojen mukaan ruostumattomasta teräk-  
sestä ja kiinnitettiin ajoneuvoon valmiita ruuvireikiä ja muita mahdollisia kiinnityspis-  
teitä hyödyntäen. Kuvassa 5.14 on esitetty sivukameran sijainti yhdessä tutkimuksen ajo-  
neuvoista. Kuvassa 5.15 on puolestaan esimerkki sivukameran tuottamasta kuvamateri-  
aalista.





*Kuva 5.14. Esimerkki sivukameran kiinnityksestä kuljettajan ovesta sijainneisiin valmiisiin ruuvinreikiin.*



*Kuva 5.15. Esimerkki sivukameran tuottamasta kuvamateriaalista.*

Ajoneuvoyhdistelmien taakse kuvaava kamera (takakamera) asennettiin ajoneuvoyhdistelmien viimeisten perävaunujen takaosaan. Puutavara-ajoneuvoissa takakameran kiinnityksessä hyödynnettiin perävaunujen takavalopaneeleissa sijainneita kiinnityspisteitä. Muissa ajoneuvoyhdistelmissä takakamera kiinnitettiin kuormatilaan valmiita ruuvinreikiä ja muita olemassa olevia kiinnityspisteitä hyödyntäen. Myös takakameroille valmistettiin ruostumattomasta teräksestä suojarakenteet. Mikko Niskala Oy:n HCT-yhdistelmässä takakamera kiinnitettiin kuormatilan yläosaan noin neljän metrin korkeuteen, muissa yhdistelmäajoneuvoissa takakamera kiinnitettiin noin 0,5–1 metrin korkeuteen. Korkealle sijoitettu takakamera havaittiin ongelmalliseksi linssin puhtaana pysymisen ja

likaantuneen linssin puhdistamisen kannalta, mutta toisaalta korkealla sijainnut kamera antoi paremmat edellytykset jononmuodostuksen seuraamiselle kuin alemmas sijoitetut kamerat. Kuvassa 5.16 on esimerkki takakameran kiinnityksestä ja kuvassa 5.17 on esimerkki takakameran tuottamasta kuvamateriaalista.



*Kuva 5.16. Takakameroita kiinnitettiin esimerkiksi perävaunujen takavalaisinpaneelisiin. Kuvassa näkyy myös pitkä kuljetus -kyltti, jonka avulla muut tiellä liikkujat tunnistavat tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän.*



*Kuva 5.17. Esimerkki takakameran tuottamasta kuvamateriaalista.*

Kaikkien videokameroiden tuottama videomateriaali sekä GPS-paikantimen tuottama paikkatieto tallennettiin tallenninyksikköön, joka sijoitettiin kuorma-auton työkaluluukuun. Tallenninyksikkö on esitetty kuvassa 5.18. Tallenninyksiköt sisälsivät vaihdettavat, yhden teratavun suuruiset kovalevyt, joille tutkimusmateriaalia kerättiin. Yhdelle kovalevylle mahtui tutkimusmateriaalia noin kahden–neljän viikon ajalta, jonka jälkeen kovalevy tuli vaihtaa uuteen. Täydet kovalevyt noudettiin tai toimitettiin postitse tutkimuslaboratorioon, jossa aineistoa voitiin analysoida tietokoneella asennetulla ohjelmistolla. Aineiston analysoinnista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.4.



*Kuva 5.18. Videokameroiden kuvan ja GPS-paikantimen paikkatiedot tallentava tallenninyksikkö sijoitettiin ohjaamon työkaluluukkuun.*

Kokonaisuudessaan tutkimuslaitteisto pyrittiin suunnittelemaan niin, että sen toiminta aiheuttaisi mahdollisimman vähän lisätyötä ja häiriötä ajoneuvojen kuljettajille. Laitteiston toiminta ja videotallennus käynnistyi automaattisesti kun ajoneuvon virta kytkettiin päälle. Kuljettajat pystyivät tarkkailemaan ohjaamossa sijainneelta näytöltä laitteiston toimintaa ja mahdollisista ongelmista tai vioista tuli ilmoittaa tutkimuksen suorittajille. Erityisesti takakamera likaantui helposti, joten kuljettajien tuli mahdollisuuksiensa mukaan puhdistaa kameroiden linssejä esimerkiksi kuorman purkamisen ja lastauksen yhteydessä. Lisäksi kuljettajien tuli perävaunuja irrottaessaan muistaa irrottaa takakameran liitin ja vastaavasti kytkeä se kiinni perävaunua kiinnitettäessä. Kaikki tutkimuslaitteiston osat pyrittiin suunnittelemaan ja asentamaan ajoneuvoihin niin, että ne voidaan poistaa jälkiä jättämättä tutkimuksen päätyttyä.

Kamerat, tallenninyksikkö ja GPS-paikannin havaittiin tutkimuksessa toiminnallisuutensa kannalta suhteellisen luotettaviksi. Suurimmat ongelmat laitteistojen toiminnassa liittyivät takakameroiden kuvan tallennusyksikölle siirtävään kaapelointiin. Alun perin liittiminä ajoneuvoyhdistelmien perävaunujen välissä sekä vetoautojen ja perävaunun välissä käytettiin Amphenol-merkkisiä, metallirunkoisia kierrelukittavia liittimiä (kuva 5.19). Liittimien käytössä havaittiin kuitenkin ongelmia, jotka liittyivät riittämättömään vedonpoistoon, huonoon kosteudeneristykseen sekä käytön vaivalloisuuteen ajoneuvoyhdistelmissä tavallisesti käytettyihin liittimiin verrattuna. Takakameroiden signaalin katkettua Amphenol-liittimiä jouduttiin vaihtamaan uusiin useita kertoja, minkä johdosta liittintyyppiä päätettiin vaihtaa ajoneuvoyhdistelmien sähköjärjestelmissä yleisesti käytettyihin 15-napaisiin liittimiin (kuva 5.20). Tämä liittintyyppi havaittiin tarkoitukseen sopivammaksi, mutta ongelmia takakameroiden kuvansiirrosta esiintyi myös uuden liittintyyppin kanssa. Koska uudet liittimet olivat vastaavia kuin ajoneuvoyhdistelmissä muutoinkin käytetyt liittimet, värjättiin kamerakaapelin liittimiä keltaisella värillä sekaannusten estämiseksi. Lisäksi kamerakaapelissa käytetyn uros- ja naarasliittimen sisäosat vaihdettiin keskenään niin, ettei kamerakaapelin liittimiä voinut kytkeä ajoneuvojen muiden liittimien kanssa ristiin.





*Kuva 5.19. Takakameran kaapelin yhdistämiseen perävaunun ja vetoauton välillä käytettiin alun perin Amphenol-liittimiä (kuvassa keskellä).*

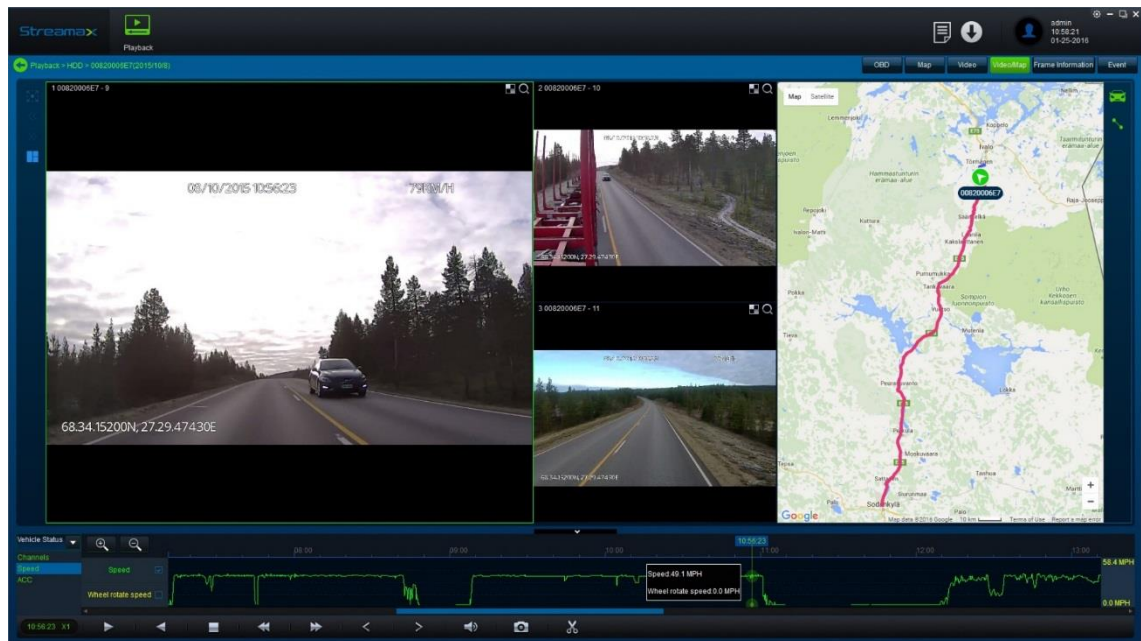


*Kuva 5.20. Amphenol-liittimet vaihdettiin tutkimuksen edetessä muovisiin, 15-napaisiin liittimiin, joita ajoneuvoyhdistelmissä yleisesti käytetään.*

Kaikkiaan tutkimusmateriaalin keräys ei sujunut alkuperäisten suunnitelmien ja aikataulujen mukaan teknisten ongelmien vuoksi. Liittimien vaihtaminen ja laitteistojen muu ylläpito vaativat huomattavasti enemmän resursseja kuin tutkimuksen alkaessa arvioitiin. Langaton tiedonsiirto kameroiden ja tallenninyksikön välillä olisi saattanut vaatia vähemmän resursseja laitteistojen ylläpitämiseksi, mutta toisaalta myös langattoman järjestelmän luotettavuuden varmistamiseksi olisi vaadittu pitkäaikaista testausta eri olosuhteissa sekä erilaisten toteutustapojen vertailua.

#### **5.4 Tutkimusmateriaalin analysointi**

Tutkimusmateriaalin analysointiin käytettiin Streamax-nimisen yrityksen valmistamaa Ceiba II -nimistä ohjelmaa, jonka valmistaja toimitti yhdessä tallennusyksikön ja tutkimuslaitteiston muiden komponenttien kanssa. Ohjelma mahdollistaa kolmen videokameran tuottaman kuvan katsomisen joko erikseen tai yhdenaikaisesti samalla näytöllä. Lisäksi ohjelma näyttää ajoneuvoyhdistelmän reitin ja sijainnin kartalla GPS-paikantimen tuottamaan paikkatietoon perustuen. GPS-paikantimen tietoihin perustuen ohjelma muodostaa myös ajoneuvoyhdistelmän nopeutta ajan suhteen esittävän kuvaajan. Tutkimusmateriaalia kerättyä tallenninyksikkö lisää kunkin kameras kuvaa ajoneuvoyhdistelmän nopeuden, sijainnin sekä kellonajan. Ruutukaappaus ohjelmiston perusnäkyvästä on esillä kuvassa 5.21.



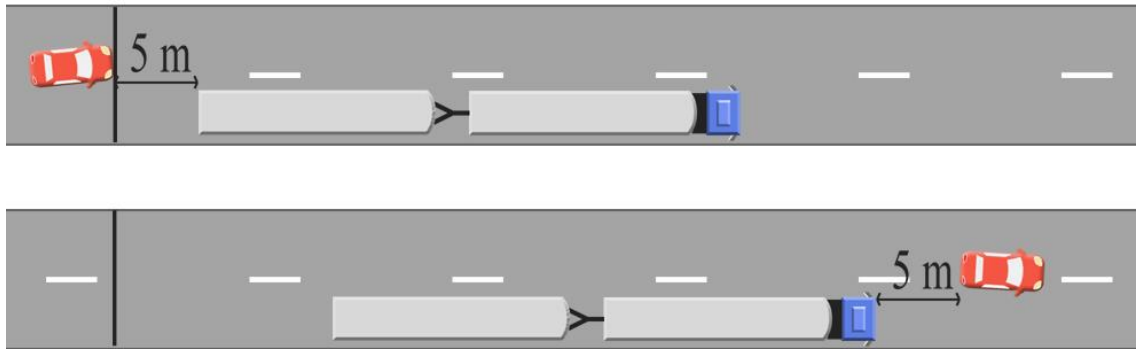
Kuva 5.21. Ruutukaappaus tutkimusmateriaalin analysointiin käytetystä Ceiba II -ohjelmasta. Ohjelma näyttää yhdenaikaisesti kolmen videokameran tuottaman kuvan, ajoneuvoyhdistelmän sijainnin ja reitin kartalla sekä ajoneuvoyhdistelmän nopeutta kuvaavan kuvaajan.

Kerätystä tutkimusmateriaalista analysoitiin tutkimuksen kannalta olennaisia asioita ohi-  
tuksiin, jonoutumiseen ja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen. Lisäksi havain-  
noitiin mahdollisia vaaratilanteita ja muita poikkeuksellisia tapahtumia. Tutkimusmateri-  
aalista analysoituja asioita on listattu alla kuvassa 5.22. Ohituksiin liittyen analysoidusta  
videomateriaalista tilastoitiin kaikki ohitukset. Tarkempi analyysi tehtiin kuitenkin vain  
kaksikaistaisilla tiealueilla tapahtuneille ohituksille. Ohittaneet ajoneuvot jaettiin ajoneu-  
votyyppiin mukaan moottoripyöriin, henkilöautoihin, pakettiautoihin, henkilö- tai paketti-  
auton ja peräkärryn yhdistelmiin sekä raskaisiin ajoneuvoihin. Lisäksi ohitukset jaettiin  
kolmeen eri ohitustyyppiin. Kiihdytysohituksella tarkoitettiin ohitusta, jossa ohittava ajo-  
neuvo sopeutti ensin oman nopeutensa ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuteen ja  
ajoi tämän perässä jonossa, kunnes sopivan ohituspaikan havaittuaan lähti kiihdyttäen  
ohitukseen. Lentävällä ohituksella puolestaan tarkoitettiin ohitusta, jossa ohittaja ei jäänyt  
ajoneuvoyhdistelmän taakse odottamaan ohituspaikkaa, vaan ohitti ajoneuvoyhdistelmän  
heti tämän saavutettuaan. Jono-ohitukseksi luokiteltiin ohitukset, joissa ohittaja ohitti sa-  
man ohituksen aikana vähintään kaksi ajoneuvoa, joista toinen oli tutkimuslaitteistolla  
varustettu ajoneuvoyhdistelmä.

<p><b><u>Ohitukset:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ohitusmäärät, ohitustyyppit, ohitusten kestot, ohitusnopeudet...</li> <li>- Ohitusaikavälin pituus</li> <li>- Turva-ajat</li> <li>- Vaaratilanteet, keskeytetyt ohitukset yms.</li> </ul>	<p><b><u>Jonoutuminen:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jononpituus eri tienkohdissa</li> <li>- Seuranta-aika ennen ohitusta</li> </ul>	<p><b><u>Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nopeudet eri tienkohdissa</li> <li>- Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen kiertoliittymissä yms.</li> <li>- Vaaratilanteet ja muut mielenkiintoiset havainnot</li> </ul>
--	---	--

*Kuva 5.22. Tutkimusmateriaalista analysoituja asioita ohituksiin, jonoutumiseen sekä ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen.*

Ohitusten keston laskemiseksi kustakin ohituksesta määritettiin alkamis- ja päättymishetki. Ohitus katsottiin alkaneeksi, kun ohittavan ajoneuvon etupään ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän takapään välinen etäisyys oli viisi metriä. Vastaavasti ohitus katsottiin päättyneeksi, kun ohittavan ajoneuvon takapään ja ohitettavan yhdistelmän etupään välinen etäisyys oli viisi metriä. Ohituksen alkamis- ja päättymisajan määrittely on esitetty kuvassa 5.23. Andersson et al. (2011) käyttivät vastaavanlaista, ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon väliseen etäisyyteen perustuvaa määrittelyä tutkimuksessaan, jossa selvitettiin eroa tavallisten ja HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudessa. Tutkimusta esiteltiin tarkemmin luvussa 4.3.2. Käsillä olevassa tutkimuksessa etäisyydeksi valittiin viisi metriä sekä teoreettisista että käytännöllisistä syistä: oletettiin, että mikäli ajoneuvo saapuu viittä metriä lähemmäksi ohitettavan ajoneuvon takapäätä, sen kuljettaja on aloittanut ohituksen. Vastaavasti oletettiin, että ohittava ajoneuvo voi palata takaisin omalle kaistalleen aikaisintaan edettyään noin henkilöauton mitan ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän edelle. Kuvausteknisistä syistä etäisyys ei olisi myöskään voinut olla lyhyempi kuin viisi metriä, sillä mitä lähemmäs ajoneuvoyhdistelmien etu- ja takareunaa etu- ja takakamera suunnataan, sitä vähemmän saadaan tietoa kauempana ajoneuvoyhdistelmästä tapahtuvista asioista. Ohituksen alkamis- ja päättymishetki voitaisiin määritellä myös esimerkiksi sen perusteella, milloin ohittava ajoneuvo ylittää osittain tai kokonaan kaistaviivan. Tässä tutkimuksessa käytettiin ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon väliseen etäisyyteen perustuvaa määrittelyä, sillä näin saatiin kuva siitä, kuinka kauan ajoneuvot ajoivat rinnakkain ja miten tämä riippui ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän pituudesta. Muulla tavalla määriteltäessä se, että erilaisen ajotyylin omaavat kuljettajat voivat esimerkiksi palata omalle kaistalleen heti kun se on mahdollista tai vasta siirryttyään kymmeniä metrejä ohitettavan ajoneuvon edelle, vaikuttaisi ohitusten tilastoituun keston.

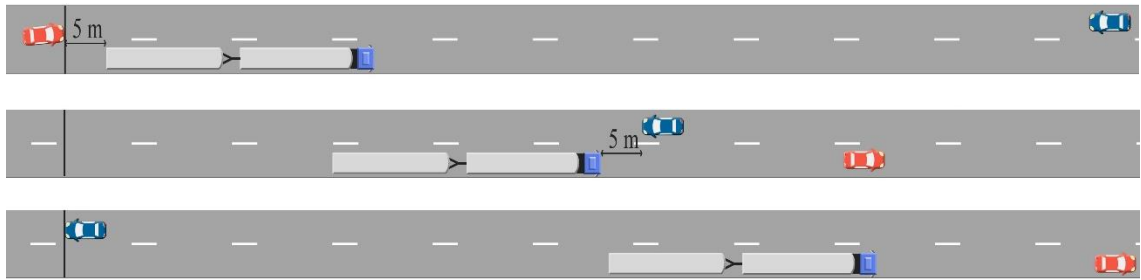


*Kuva 5.23. Ohitus määriteltiin alkaneeksi, kun ohittavan ajoneuvon nokan ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän perän välinen etäisyys oli viisi metriä. Vastaavasti ohituksen katsottiin päättyneen, kun ohittaneen ajoneuvon perän ja ohitetun yhdistelmäajoneuvon nokan välinen etäisyys oli viisi metriä.*

GPS-paikantimen tuottaman nopeustiedon ja ohituksen keston avulla voitiin laskea ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän kulkeman matkan pituus sekä ohitettavan yhdistelmän keskinopeus ohituksen aikana. Ohittaneen ajoneuvon kulkema matka ohituksen aikana voitiin laskea lisäämällä ohitetun ajoneuvoyhdistelmän kulkemaan matkaan ohitetun ja ohittaneen ajoneuvon pituudet sekä ohituksen alku- ja päättymishetken määrittelytavasta johtuva yhteensä kymmenen metrin välimatka. Ohittaneen ajoneuvon keskinopeus ohituksen aikana voitiin laskea jakamalla ohittajan kulkema matka ohituksen kestolla. Kustakin ohituksesta laskettiin lisäksi ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohituksen aikaisten keskinopeuksien erotus sekä ohittajan keskinopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välinen erotus.

Eräänlaisena indikaattorina ohittamisen helppoudesta voidaan pitää sitä, kuinka pitkän vastaantulevasta liikenteestä vapaan tiealueen ohittamaan lähtevät ajoneuvot vaativat tehdäkseen positiivisen ohituspäätöksen. Tätä analysoitiin tutkimalla kustakin ohituksesta, kuinka pitkä aika ensimmäisellä vastaantulevalla ajoneuvolla kestää edetä siihen tien poikkileikkaukseen pisteeseen, jossa ohitus katsottiin alkaneeksi. Vastaantulevan ajoneuvon oletettiin ajavan nopeusrajoituksen osoittamaa nopeutta. Näin määritelty ohitusaikaväli kuvaa vastaantulevien ajoneuvojen välistä kokonaista aikaväliä siinä tapauksessa, että ohitus alkaa välittömästi edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen. Mikäli ohitus ei ala heti edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen, on kyseessä alkuaikaväli. Alkuaikaväli on siis pienempi kuin se kahden vastaantulevan ajoneuvon välinen aikaväli, jossa ohitus tapahtuu. Hyväksytyn ohitusaikavälin määrittäminen siinä tapauksessa, jossa vastaantuleva ajoneuvo on näkyvissä ohituksen alkaessa, on esitetty kuvassa 5.24.





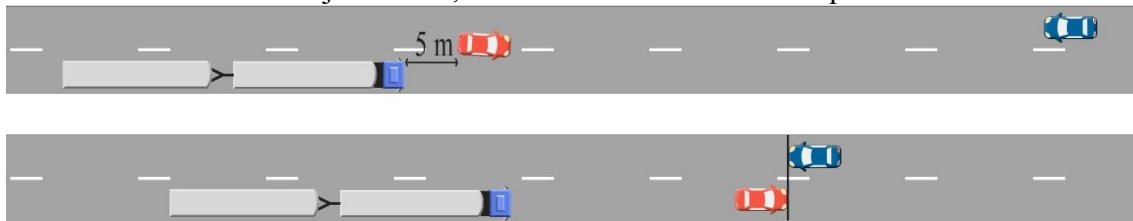
Kuva 5.24. Hyväksytyn ohitusaikavälin määrittäminen tapauksessa, jossa vastaantuleva ajoneuvo (kuvassa sininen henkilöauto) on näkyvissä ohituksen alkaessa. Ohitusaikaväli määritetään kahdessa osassa: Ensimmäin analysoidaan videomateriaalista, kuinka pitkä aika ohituksen alkamisesta (rivi 1) kuluu siihen, että vastaantulevan ajoneuvon nokan ja ohitetun yhdistelmäajoneuvon nokan välinen etäisyys on viisi metriä (rivi 2). Sen jälkeen lasketaan, kuinka pitkä aika vastaantulijalta kestää kulkea siihen tien poikkileikkauksen pisteeseen, jossa ohituksen katsottiin alkaneen (rivi 3). Laskemalla edellä mainitut ajat yhteen, saadaan hyväksytyn ohitusaikavälin kesto. Ohitusaikaväli on joko vastaantulevien ajoneuvojen välinen kokonainen aikaväli tai kyseisestä aikavälistä jäljellä oleva aika eli alkuaikaväli riippuen siitä, alkoiko ohitus välittömästi edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen vai ei.

Mikäli ohitushetkellä ei vastaantulevaa liikennettä ollut näkyvissä vaan näkemää rajoitti maastoeste, määritettiin ohituspaikalla vallitseva näkemäetäisyys Liikenneviraston tierekisterin näkemäpituustietojen avulla. Sen jälkeen laskettiin, kuinka pitkä aika näkemäesteen takaa ilmestyyvällä, nopeusrajoituksen osoittamaa nopeutta ajavalla ajoneuvolla olisi kestänyt saavuttaa tien poikkileikkauksen se piste, jossa ohituksen katsottiin alkaneen. Liikenneviraston tierekisterissä on ilmoitettu teiden näkemäpituuksien minimi- ja maksimiarvoja. Näiden ääriarvojen välillä näkemäpituuden oletetaan muuttuvan lineaarisesti. Tierekisterin tietojen perusteella muodostettiin tietokanta, jonka avulla voitiin määrittää näkemäpituus missä tahansa tien kohdassa. Koska tierekisterissä ilmoitetut näkemäpituudet on ilmoitettu vain yhteen suuntaan (tässä tapauksessa etelästä pohjoiseen), jouduttiin vastakkaiseen ajosuuntaan tapahtuneissa ohituksissa vallinnutta näkemää arvioimaan matemaattisesti. Arvio perustettiin oletukselle, että jos tiedetään pisteessä A vallitsevan näkemän olevan esimerkiksi 800 metriä pohjoissuuntaan, jossa sijaitsee piste B, on pisteessä B vallitsevan näkemän pituus vastaavasti 800 metriä eteläsuuntaan. Tämän oletuksen perusteella voitiin tiedot myös inventointisuuntaa vastakkaisen suunnan näkemistä lisätä tietokantaan.

Hyväksytyn ohitusaikavälin pituus ei kuitenkaan kuvaa sitä, kuinka pitkä aikavälin pitää vähintään olla, jotta ohittamaan pyrkivät kuljettajat tekevät positiivisen ohituspäätöksen. Tämän niin sanotun kriittisen aikavälin selvittämiseksi tulee analysoida myös sitä, kuinka pitkä on kunkin kuljettajan hylkäämä pisin aikaväli. Johdonmukaisesti käyttäytyvillä kuljettajilla pienin hyväksyttävissä oleva aikaväli on kestoaltaan pisimmän hylätyn aikavälin ja hyväksytyn aikavälin välissä. Kunkin ohittajan pisintä hylättyä aikaväliä tutkittiin videomateriaalin perusteella vastaavalla tavalla kuin hyväksytyjä ohitusaikavälejä. Mikäli ajoneuvo oli pitkään jonossa ajoneuvoyhdistelmän takana, suhteellisen pitkiä hylättyjä ohitusaikavälejä saattoi olla useampia. Tällaisissa tapauksissa kaikkien näiden aikavälien pituus tuli selvittää, jotta pisin hylätty aikaväli saatiin selville. Lentävissä ohituksissa ja jono-ohituksissa ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi ei hylätty yhtään aikaväliä, joten pisin hylätty aikaväli merkittiin nollassa. Myös kiihdytysohituksissa pisin hylätty aikaväli merkittiin nollassa, mikäli ajoneuvoyhdistelmän takana tapahtunut jonottaminen tapahtui kokonaan ohituskieltoalueella.

Kun tiedettiin kunkin ohittajan hyväksymän aikavälin pituus sekä pisimmän hylätyn aikavälin pituus, voitiin määrittää ajoneuvoyhdistelmien ohittamiseen vaaditun kriittisen aikavälin keskiarvon suuruus. Kriittisen aikavälin estimoimiseksi käytettiin suurimman uskottavuuden- eli maximum likelihood -menetelmää, joka esiteltiin tarkemmin luvussa 3.4. Kriittisen aikavälin estimaatti laskettiin erikseen tyhjien ja kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Lisäksi laskenta tehtiin myös niin, että tyhjien ja kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista saadut aineistot yhdistettiin. Kriittistä aikaväliä estimoitaessa ohituksia ei eroteltu sen mukaan, rajoittiko ohittajan näkemää ohituksen alkaessa maastoeste vai vastaantuleva ajoneuvo, vaan ohitukset käsiteltiin tältä osin yhtenä aineistona. Kriittisen aikavälin estimaatti laskettiin käyttämällä aihetta runsaasti tutkineen professori Rod Troutbeckin ohjelmoimaa laskentapohjaa Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmassa. Laskentapohjaan annettiin syötteenä hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen ohitusaikavälien arvot pareittain, ja ohjelma laski aineiston perusteella kriittisen aikavälin estimaatin.

Ohitusten turvallisuutta tutkittiin vertailemalla turva-aikojen pituutta. Turva-aika määriteltiin ajaksi, joka kuluu ohituksen päättymisestä, eli siitä hetkestä, jolloin ohittavan ajoneuvon takapään ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän etupään välinen etäisyys on viisi metriä, siihen hetkeen, jolloin ohittaneen ajoneuvon etupää on kohdakkain vastaantulevan ajoneuvon etupään kanssa. Turva-ajan määrittämisessä käytetyt ajanhetket on esitetty kuvassa 5.25. Ohitusturvallisuuteen liittyen havainnoitiin lisäksi keskeytettyjä ohituksia sekä ohituksissa havaittuja rikkeitä, kuten ohituskieltoalueella tapahtuneita ohituksia.



*Kuva 5.25. Turva-ajalla tarkoitettiin tämän työn yhteydessä aikaa, joka kului siitä hetkestä, jolloin ohittanut ajoneuvo oli viisi metriä ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän edellä siihen hetkeen, jolloin ohittanut ajoneuvo oli kohdakkain vastaantulevan ajoneuvon kanssa.*

Kustakin ohituksesta tutkittiin myös seuranta-aikaa eli sitä, kuinka pitkän ajan ohittaja ajoi ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottajana ennen ohituksen alkuhetkeä. Seuranta-aika vastaa siis likimain jonoteorian käsitettä palveluaika, jolla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka asiakas on palvelupisteessä palveltavana. Seuranta-ajan katsottiin alkaneen, kun ohittaja saapui ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän taakse jonoon eli kun ohittajan ja ohitettavan välinen nettoaikaväli oli enintään kolme sekuntia. Lentävissä ohituksissa seuranta-ajaksi merkittiin kuitenkin nolla sekuntia, sillä ohittajan ja ohitettavan nopeuserosta johtuen katsottiin, ettei varsinaista jonottamista tapahtunut. Seuranta-aikaa määritettäessä jono-ohitukset rinnastettiin lentäviin ohituksiin ja seuranta-ajaksi merkittiin nolla sekuntia, sillä jono-ohituksissa ohittaja ei ollut ajoneuvoyhdistelmän takana ensimmäisenä jonottajana ennen ohitusta. Vaikka jono-ohitukseen lähtenyt ajoneuvo oli jonnossa ennen ohitusta, jonotusajan tarkka määrittäminen olisi ollut erityisesti pitkien jonojen tapauksessa epätarkkaa ja joissain tapauksissa mahdotonta.

Jonoutumista ajoneuvoyhdistelmien perässä tutkittiin myös laskemalla jononpituus ajoneuvoyhdistelmien perässä viiden minuutin välein. Jonokriteerinä käytettiin kolmen sekunnin nettoaikaväliä: mikäli ajoneuvojen välinen aikaväli oli enintään kolme sekuntia,

ajoneuvojen katsottiin olevan jonossa. Kolmen sekunnin aikaväliä vastaava etäisyys riippuu ajonopeudesta siten että esimerkiksi nopeudella 60 km/h kolmen sekunnin aikaväli vastaa 50 metrin etäisyyttä ja nopeudella 80 km/h noin 67 metrin etäisyyttä. Jononpituuden arviointi tutkimuksessa kerätyn materiaalin perusteella on sitä vaikeampaa, mitä pidempi jono on. Mikäli maantienopeuksissa havaitaan esimerkiksi yli viiden ajoneuvon pituinen jono, ovat jonossa viimeisinä ajavat ajoneuvot niin kaukana, että virheen mahdollisuus ajoneuvojen välisen aikavälin pituuden arvioinnissa kasvaa merkittävästi. Ajoneuvojen välisen aikavälin pituuden selvittämisessä pyrittiin käyttämään hyväksi tiealueelta löytyneitä kiintopisteitä, kuten valaisinpylväitä, liikennemerkkejä ja tiemerkintöjä.

Liikennevirtateorian ja aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella tiedettiin, että liikennemäärä vaikuttaa tutkittaviin suureisiin, kuten hyväksytyjen ja hylättyjen ohitusaikavälien pituuteen, turva-aikojen pituuteen, seuranta-ajan kestoon sekä jonoutumiseen. Tämän takia myös liikennemäärää mitattiin analysoitavien tapahtumien aikana ja niitä edeltävinä hetkinä. Kunkin ohituksen yhteydessä tutkittiin vastaantulevan kaistan liikennemäärä viiden minuutin pituiselta ajanjaksolta ennen ohituksen alkuhetkeä. Liikennemäärän laskeminen suoritettiin laskemalla tutkittavaa ajoneuvoyhdistelmää vastaan tulleet ajoneuvot kyseisten viiden minuutin aikana. Koska liikennemäärällä tarkoitetaan tietyn poikkileikkauksen ylittävien ajoneuvojen määrää aikayksikössä, vastaantulevien ajoneuvojen määrän laskemisen lisäksi tulee mitata tai arvioida sekä ajoneuvoyhdistelmän että vastaantulevien ajoneuvojen nopeus. GPS-koordinaattien avulla voitiin tutkia, kuinka pitkän matkan tutkittava ajoneuvoyhdistelmä ajoi viiden minuutin aikana, ja tämän avulla voitiin laskea ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus kyseisenä aikana. Vastaantulijoiden nopeudeksi oletettiin nopeusrajoituksen osoittama nopeus. Näiden tietojen avulla voitiin laskea, kuinka moni viiden minuutin aikana vastaan tullut ajoneuvo ylitti laskennan aikana sen poikkileikkauksen, jossa laskenta aloitettiin. Liikennemäärää viiden minuutin aikajaksolla kuvannut luku kerrottiin luvulla 12, jotta saatiin liikennemäärän yksiköksi ajoneuvoa tunnissa. Mikäli ohitus tapahtui alle viisi minuuttia liikkeellelähdon jälkeen, laskettiin vastaantulijoiden määrä liikkeelläolon ajalta ja saatu liikennemäärä muutettiin sopivan kertoimen avulla yksikköön ajoneuvoa tunnissa.

Ajoneuvoyhdistelmien keskimääräisen nopeustason selvittämiseksi tutkittiin yhdistelmien keskinopeuksia yhdensuuntaisilla matkoilla. Keskinopeudet laskettiin ajoneuvoyhdistelmien reittien yhtenevältä osalta Rovaniemen 2+2-kaistaisen tieosuuden ja Ivalon kuormanvaihtopaikan väliseltä matkalta jakamalla matkan pituus siihen käytetyllä ajalla. Reitin ajamiseen käytettyyn matkaan ei luonnollisesti laskettu mukaan mahdollisia matkalla pidettyjä taukoja. Keskinopeuksien lisäksi tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia mäissä. Tarkastelu keskittyi erityisesti Inarissa Saariselän pohjoispuolella sijaitsevaan Magneettimäeksi kutsuttuun mäkeen, sillä se tiedettiin ennakolta Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-ajoneuvoyhdistelmän reitin vaativimmaksi nousuksi. Ajoneuvoyhdistelmille laskettiin keskinopeus noin 3600 metrin pituisen yhtäjaksoisen nousun aikana nousuun käytetyn ajan perusteella. Lisäksi GPS-paikantimen tuottamien nopeustietojen avulla ajoneuvoyhdistelmien hetkittäistä nopeutta voitiin seurata mäen eri kohdissa ja muodostaa näin nousunopeutta ajan suhteen kuvaavia kuvaajia. Nopeustietojen avulla myös määriteltiin ajoneuvoyhdistelmien nopeus nousun alussa sekä nousun aikana havaittu alhaisin nopeus. Analysoiduista nousuista kerättyjen tietojen avulla laskettiin ajoneuvoyhdistelmien nousuja keskimääräisesti kuvaavia arvoja.

Yhdistelmäajoneuvojen ajoneuvodynaamista käyttäytymistä analysoitiin GPS-paikantimen tuottamien nopeustietojen lisäksi visuaalisiin havaintoihin perustuen. Ajoneuvoyh-

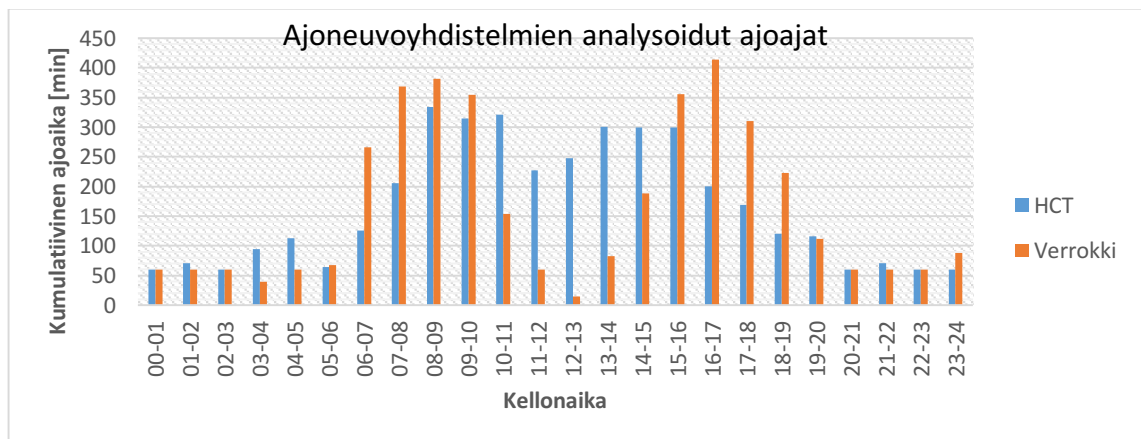
distelmien liikkeitä ja liikkumisen sujuvuutta tarkasteltiin muun muassa reitillä sijaitse-  
vissa viidessä kiertoliittymässä sekä muissa reitin liittymissä. Havaintoja pyrittiin teke-  
mään myös ajoneuvoyhdistelmien sivuttaissuuntaisesta heilunnasta erilaisissa tienkoh-  
dissa sekä ajoneuvoyhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten eli niin sanottujen  
kaksoiskaistanvaihtojen aikana. Sekä videomateriaaliin että nopeustietoon perustuen ha-  
vainnoitiin myös poikkeuksellisten tilanteiden, kuten äkkijarrutusten tai väistöliikkeiden  
esiintymistä. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että videomateriaaliin ja GPS-tietoihin pe-  
rustuva havainnointi ei ole tarpeeksi tarkka menetelmä esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien  
stabiliteetin tai kiihtyvyys- ja hidastuvuusominaisuuksien tutkimiseksi, mutta se antaa  
kuitenkin mahdollisuuden tarkkailla sitä, havaitaanko erilaisten yhdistelmien käyttäyty-  
misessä huomattavia eroja ja millaisessa suuruusluokassa mahdolliset erot ovat.

## 6 Tutkimustulokset

### 6.1 Ohitukset

#### 6.1.1 Ohitusten määrä

Ohituksiin ja jonoutumiseen liittyen Ketosen Kuljetus Oy:n HCT- ja verrokkiyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin ajanjaksolta 4.10.2015–5.11.2015. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamasta materiaalista analysoitiin kahdeksan Rovaniemeltä Ivalon kuormanvaihtopaikalle tyhjänä ajettua matkaa ja yhdeksän kuormattuna paluusuuntaan ajettua matkaa. Etäisyytenä mitattuna kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamaa materiaalia analysoitiin noin 4900 kilometriä, mikä vastaa noin 65 ajettua tuntia kummallakin ajoneuvoyhdistelmistä. Analysoidut matkat ovat yhteneviltä päiviltä ja analysoidut päivät puolestaan valittiin niin, että ajoneuvoyhdistelmien lähtöajat olivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Tällä pyrittiin siihen, että kerätty materiaali olisi ulkoisten olosuhteiden puolesta mahdollisimman yhtenevää ja siten vertailukelpoista. Kuten kuvasta 6.1 nähdään, ajoneuvoyhdistelmien ajoajoissa oli kuitenkin jonkin verran eroa. Verrokkiyhdistelmä lähti yleensä Rovaniemeltä pohjoiseen aikaisemmin aamulla kuin HCT-yhdistelmä. Vastaavasti verrokkiyhdistelmä saapui kuormattuna Rovaniemelle usein myöhemmin kuin HCT-yhdistelmä. Tämä johtui siitä, että verrokkiyhdistelmä nouti puunsa useimmiten metsästä Ivalon kuormanvaihtopaikan pohjoispuolelta, jolloin yhdensuuntainen ajoaika oli pidempi kuin HCT-yhdistelmällä. Tämän johdosta HCT-yhdistelmän tuottamaa materiaalia kertyi verrokkiä enemmän aamu- ja keskipäivän tunneilta, kun taas verrokin tuottamaa materiaalia analysoitiin HCT-yhdistelmää enemmän aikaisen aamun ja alkuihlän tunneilta. Vaikka verrokkiyhdistelmä nouti puunsa Ivalon kuormanvaihtopaikan pohjoispuolelta, sen tuottamasta materiaalista analysoitiin vain HCT-yhdistelmän reitin kanssa yhtenevä reitin osuus.



Kuva 6.1. HCT- ja verrokkiyhdistelmien päivittäisissä aikatauluissa oli jonkin verran eroa, mikä aiheutti ajoneuvoyhdistelmien välistä eroa myös analysoidun materiaalin jakautumiseen vuorokauden eri tunneille.

Keliolosuhteiden osalta analysoitu materiaali sisälsi loppusyksyllä tyypillistä säätä: päiväsaikaan lämpötila oli yleensä hieman nollan yläpuolella, kun taas ilta- ja yöaikaan lämpötila oli hieman pakkasella. Materiaalia saatiin sekä poutaisilta että sateisilta päiviltä. Analysoituna aikana tie oli pääosin sula, mutta lokakuun lopulta ja marraskuun alun päiviltä saatiin myös materiaalia, jossa tie oli osittain jäinen tai lumeninen. Tutkimuksen edetessä materiaalia Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmillä on kerätty myös talvikeleiltä, joten tarpeen vaatiessa ohituksiin ja jonoutumiseen liittyviä asioita voidaan analysoida myös lumisena aikana kerätystä materiaalista.

Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmien tuottamasta aineistosta analysoidussa materiaalissa havaittiin yhteensä 398 kaksikaistaisilla tieosuuksilla, tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivista ohitusta ja 80 2+2-kaistaisilla tieosuuksilla tapahtunutta passiivista ohitusta. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitettiin 233 kertaa ja verrokkiyhdistelmä 165 kertaa. 2+2-kaistaisilla tieosuuksilla HCT-yhdistelmän ohituksia havaittiin 44 kappaletta ja verrokkiyhdistelmän ohituksia 36 kappaletta. Taulukossa 6.1 on kuvattu kaksikaistaisilla teillä havaittujen ohitusten jakautumista tyhjien ja kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksiin sekä erilaisiin ohitustyyppeihin. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu, kuinka monessa ohituksessa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka monessa ohituksessa näkemää rajoitti vastaantulevan ajoneuvon sijasta maastoeste.

*Taulukko 6.1. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten jakautuminen tyhjien ja kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien sekä kolmen eri ohitustyyppin välillä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu, kuinka monessa ohituksessa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa ja kuinka monessa ohituksessa näkemää rajoitti maastoeste.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohituksia kaksikaistaisilla teillä [kpl]	90	51	143	114	233	165
Kiihdytysohituksia [%]	68,9	60,8	65,7	61,4	67,0	61,2
Lentäviä ohituksia [%]	27,8	35,3	21,0	30,7	23,6	32,1
Jono-ohituksia [%]	3,3	3,9	13,3	7,9	9,4	6,7
Vastaantulija näkyvissä [kpl]	2	3	7	7	9	10
Vastaantulija ei näkyvissä [kpl]	88	48	136	107	224	155

Taulukosta 6.1 nähdään, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia on havaittu sekä tyhjänä että kuormattuna enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksia. Tyhjänä ajetuilla matkoilla passiivisten ohitusten määrän mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 13 ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 6,5 ohitusta per matka. Vastaavasti kuormattuna ajetuilla yhdensuuntaisilla matkoilla passiivisten ohitusten määrän mediaani oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 15 ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 13 ohitusta per matka.

Kun tarkastellaan ohitusten jakautumista ohitustyyppeihin, havaitaan, että sekä tyhjän HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksista jono-ohituksia oli verrattain pieni osuus: tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista 3,3 % ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista 3,9 % oli jono-ohituksia. Tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 35 % oli lentäviä ohituksia, kun taas tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista lentäviä ohituksia oli noin 28 %. Loput ohituksista, eli HCT-yhdistelmän tapauksessa noin 69 % ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa noin 61 %, olivat kiihdytysohituksia.

Taulukosta 6.1 havaitaan myös, että kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksista lentäviä ohituksia oli noin seitsemän prosenttiyksikköä vähemmän ja kiihdytysohituksia noin

kolme prosenttiyksikköä vähemmän kuin tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksista. Sen sijaan jono-ohitusten määrä oli kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 10 prosenttiyksikköä suurempi tyhjään HCT-yhdistelmään verrattuna. Kuormatun verrokin ohituksista lentäviä ohituksia oli noin neljä prosenttiyksikköä vähemmän ja jono-ohituksia noin neljä prosenttiyksikköä enemmän kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista. Kiihdytysohitusten prosentuaalisessa osuudessa ei sen sijaan ollut eroa tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksiin.

Taulukosta 6.1 nähdään myös, että suurin osa kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Kaikista HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 4 % oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa vastaava luku on hieman yli 6 %. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista hieman suurempi osa oli siis sellaisia, joissa näkemää rajoitti ohituksen alkaessa maastoeste. Taulukossa 6.2 on kuvattu ohittavien ajoneuvojen jakautumista ajoneuvotyyppeihin kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa.

*Taulukko 6.2. Ohittajien ajoneuvojakauma kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Henkilöautoja [%]	73,3	80,4	76,2	71,1	75,1	73,9
Pakettiautoja [%]	22,2	11,8	14,0	25,4	17,2	21,2
Peräkärryllisiä henkilö- tai pakettiautoja [%]	3,3	5,9	2,8	2,6	3,0	3,6
Raskaita ajoneuvoja [%]	1,1	2,0	4,2	0,9	3,0	1,2
Matkailuautoja [%]	0	0	2,8	0	1,7	0

Taulukosta 6.2 nähdään, että valtaosa ohittavista ajoneuvoista on henkilöautoja sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Henkilöautojen osuus ohittavista ajoneuvoista vaihtelee noin 71 ja 80 prosentin välillä. Pakettiautojen osuus ohittavista vaihtelee noin 12 ja 25 prosentin välillä. Henkilö- ja pakettiautoja on siis ohittajista valtaosa. Kolmanneksi suurin ohittajaryhmä ovat peräkärrylliset henkilö- ja pakettiautot. Niiden suhteellinen osuus ohittajista vaihtelee noin kolmen ja kuuden prosentin välillä. Raskaita ajoneuvoja, eli linja-autoja, kuorma-autoja ja raskaita ajoneuvoyhdistelmiä on ohittajista noin yhdestä neljään prosenttia. Edellisten lisäksi havaittiin neljä matkailuautojen suorittamaa ohitusta. Kaikissa näistä ohituksista ohitettavana oli kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä. Kaiken kaikkiaan taulukon 6.2 perusteella voidaan sanoa, että ohittavien ajoneuvojen jakaumassa ei ole havaittu kovin suurta eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä.

Tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisten ohitusten lisäksi havaittiin myös joitakin aktiivisia ohituksia. Tutkittuna ajanjaksona HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitti muita ajoneuvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla yhteensä seitsemän kertaa. HCT-yhdis-

telmän suorittamista ohituksista viisi tapahtui tyhjänä ja kaksi kuormattuna. Verrokkiyhdistelmän suorittamia ohituksia kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittiin puolestaan kuusi kappaletta. Kaikki kyseiset ohitukset tapahtuivat tyhjänä ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien suorittamissa aktiivisissa ohituksissa ohitettavana ajoneuvona oli yleensä muuta liikennettä hitaammin ajanut ajoneuvo, kuten traktori, mönkijä, hinausauto tai raskas ajoneuvo. Aliluvuissa 6.1.2–6.1.7 kuvatut ohituksiin liittyvät tiedot koskevat tutkittujen ajoneuvoyhdistelmien kannalta passiivisia ohituksia, ellei toisin mainita.

### 6.1.2 Ohitusten kesto

Ohitusten kestoja tutkittiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Tiedot kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten kestojen keski- ja mediaaniarvoista sekä keskihajonnasta on esitetty taulukossa 6.3. Arvot on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

*Taulukko 6.3. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten keston keskiarvoja, mediaaniarvoja sekä keskihajonnan arvoja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohitusten keston keskiarvo [s], kaikki ohitukset	6,0	4,8	5,5	4,9	5,7	4,9
Ohitusten keston mediaani [s], kaikki ohitukset	5,9	4,8	5,0	4,9	5,3	4,9
Ohitusten keston keskihajonta [s], kaikki ohitukset	1,9	1,6	1,9	1,6	1,9	1,6
Ohitusten keston keskiarvo [s], ohittajana henkilöauto	5,6	4,3	4,9	4,7	5,2	4,6
Ohitusten keston mediaani [s], ohittajana henkilöauto	5,3	4,2	4,8	4,8	5,0	4,6
Ohitusten keston keskihajonta [s], ohittajana henkilöauto	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2

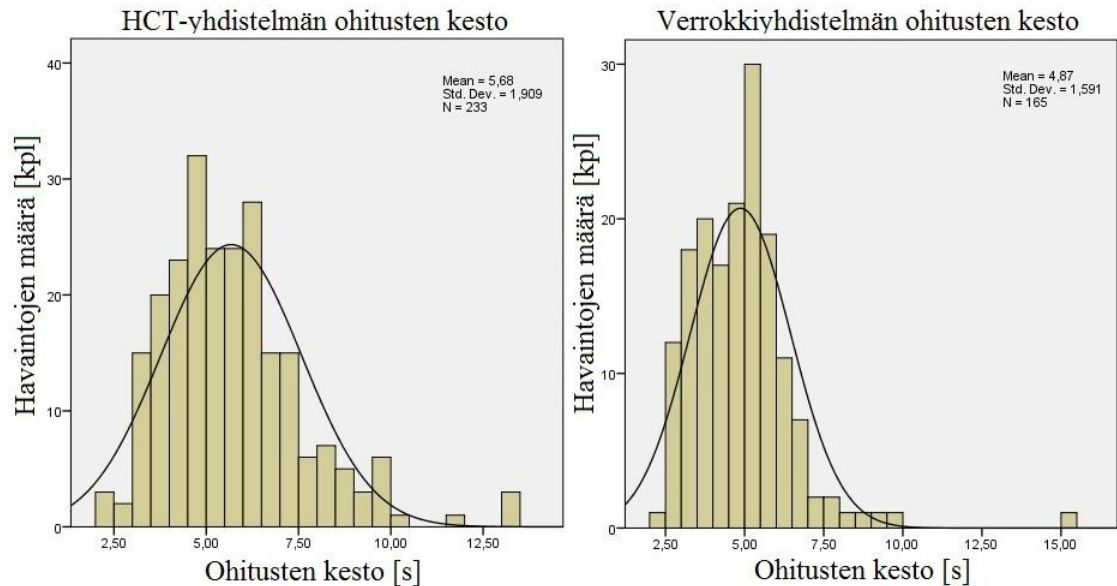
Taulukosta 6.3 nähdään, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 6,0 sekuntia, kun taas tyhjän verrokkiyhdistelmän ohitukset kestivät keskimäärin 4,8 sekuntia eli 1,2 sekuntia vähemmän. Ohitusten keston keskiarvojen ero todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä (riskitaso  $p < 0,001$ ). Kun tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia ohituksia, ohitusten keskimääräiset



kestot laskevat noin puoli sekuntia, mutta erot ohitusten kestoissa yhdistelmien välillä säilyvät suunnilleen samansuuruisina verrattuna kaikista ohituksista laskettuihin arvoihin. Kuormattujen yhdistelmien ohitusten kestoissa erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä ovat huomattavasti pienempiä: kuormatun HCT-yhdistelmän ohitus kesti keskimäärin 5,5 sekuntia, kun taas kuormatun verrokkiyhdistelmän ohitus kesti keskimäärin 4,9 sekuntia. Ero kuormattujen yhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvoissa todettiin kuitenkin tilastollisesti merkitseväksi ( $p < 0,05$ ). Mikäli tarkastellaan vain henkilöautojen suorittamia kuormattujen yhdistelmien ohituksia, nähdään, että erot ohitusten kestoissa pienenevät edelleen: henkilöautot ohittivat kuormatun HCT-yhdistelmän keskimäärin 4,9 sekunnissa, kun keskimääräinen henkilöauton suorittama verrokkiyhdistelmän ohitus kesti 0,2 sekuntia vähemmän. Riippumattomien otosten t-testillä todettiin, että henkilöautojen suorittamissa kuormattujen yhdistelmien ohituksissa erot ohitusajojen kestojen keskiarvoissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ohitusten kestojen keskihajontoja verrattaessa nähdään, että hajonta oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 1,9 sekuntia eli 0,4 sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kummankaan yhdistelmän tapauksessa hajonnassa ei ollut eroa tyhjien ja kuormattujen yhdistelmien ohitusten välillä. Lisäksi nähdään, että henkilöautojen suorittamissa ohituksissa keskihajonnat olivat kaikissa tapauksissa 0,4 sekuntia pienempiä kuin kaikkien ajoneuvojen suorittamissa ohituksissa.

Taulukon 6.3 avulla voidaan myös vertailla tyhjien ja kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestoa. Taulukosta nähdään, että kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen kesti keskimäärin 0,5 sekuntia vähemmän kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen. Ero todettiin myös tilastollisesti merkitseväksi ( $p < 0,05$ ). Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohittaminen puolestaan kesti keskimäärin 0,1 sekuntia kauemmin kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän ohittaminen. Ero ei ole tilastollisesti merkitsevä. Mikäli verrataan ainoastaan henkilöautoilijoiden suorittamia ohituksia, ovat erot ohitusten kestossa tyhjien ja kuormattujen yhdistelmien välillä hieman edellä esitettyjä arvoja suurempia. Ohitusten kestoon vaikuttavat aliluvussa 5.4 esitetyllä tavalla ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituudet ja nopeudet. Taulukon 6.3 lukuja tarkasteltaessa onkin syytä muistaa, että Ketosen Kuljetus Oy:n verrokkiyhdistelmässä käytettiin tutkimusmateriaalin keräämisen aikana pituudeltaan muuttuvaa, niin sanottua jatkettavaa varsinaista perävaunua. Tyhjänä ajettaessa perävaunu oli lyhyessä muodossaan, jolloin verrokkiyhdistelmän kokonaispituus oli noin 22 metriä. Kuormattuna ajettaessa varsinainen perävaunu oli pitkässä muodossaan, jolloin yhdistelmän kokonaispituus oli noin 25 metriä. Tämä tekijä selittää osan taulukosta 6.3 nähtävistä eroista. Toista vaikuttavaa tekijää, eli ohittavien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisia nopeuksia on käsitelty luvussa 6.1.4.

Kuvassa 6.2 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten kestojen frekvenssijakauma. Jakaumiin on otettu mukaan ohittavan ajoneuvon ajoneuvotyyppistä riippumatta kaikki kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaitut sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitukset. Kuvista nähdään, että ohitusajat noudattavat melko hyvin normaali-jakaumaa. Lisäksi kuvat havainnollistavat edellä mainittua keskihajontojen eroa. Erityisesti 7,5–10 sekuntia kestävien ohitusten suhteellinen osuus on HCT-yhdistelmän ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Myös yli 10 sekuntia kestäneitä ohituksia on HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa hieman enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa.



Kuva 6.2. Ohitusten keston frekvenssijakauma HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa.

### 6.1.3 Ohitusmatkan pituus

Ohitusten kestojen lisäksi tutkittiin sekä ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän että ohittavan ajoneuvon ajaman matkan pituutta ohituksen aikana. Ohitusmatkojen pituus laskettiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Ohitusmatkojen pituuksista lasketut keski- ja mediaaniarvot sekä pituuksien keskihajonnan arvot on esitetty taulukossa 6.4.

Taulukko 6.4. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikana ajamien matkojen keskiarvoja, mediaaneja sekä keskihajonnan arvoja.

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskiarvo [m]	132	108	110	102
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan mediaani [m]	128	107	108	101
Ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan keskihajonta [m]	39	36	39	30
Ohittajan ajaman matkan keskiarvo [m]	180	146	158	142
Ohittajan ajaman matkan mediaani [m]	176	147	156	140
Ohittajan ajaman matkan keskihajonta [m]	39	37	40	30

Taulukossa 6.4 esitetyistä luvuista havaitaan, että tyhjänä ajava HCT-ajoneuvoyhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 132 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 128 metriä. Tyhjä verrokkiyhdistelmä puolestaan eteni ohitusten aikana keskimäärin 108 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 107 metriä. Tyhjä HCT-ajoneuvoyhdistelmä siis eteni ohitusten aikana hieman yli 20 metriä pidemmän matkan kuin tyhjä verrokkiyhdistelmä. Ero tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ajamien matkojen keskiarvoissa todettiin riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso  $p < 0,001$ ).

Ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana etenemä matka oli kuormattuna merkittävästi lyhyempi kuin tyhjänä: kuormattu HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana keskimäärin 110 metriä ja kuormattu verrokkiyhdistelmä keskimäärin 102 metriä. Vastaavat mediaaniarvot olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 108 metriä ja verrokkiyhdistelmällä 101 metriä. HCT-yhdistelmän tapauksessa ohituspituuksien keskiarvojen ero tyhjän ja kuormatun yhdistelmän välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi ( $p < 0,001$ ), mutta verrokkiyhdistelmän tapauksessa keskiarvojen ero ei ole t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Kun vertaillaan kuormattujen yhdistelmien ohitusten aikana ajamia matkoja, nähdään, että kuormattu HCT-yhdistelmä eteni ohitusten aikana hieman alle 10 metriä pidemmän matkan kuin kuormattu verrokkiyhdistelmä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien välillä eroa etenemismatkoissa on siis vähemmän kuin tyhjiä yhdistelmien välillä, eikä keskiarvojen ero riippumattomien otosten t-testin mukaan ole tilastollisesti merkitsevä. Kuten ohitusaikojenkin tapauksessa, erojen kaventuminen johtuu verrokkiyhdistelmän perävaunun muuttuvasta pituudesta sekä ohituksissa käytetyistä nopeuksista, joita on käsitelty tarkemmin aliluvussa 6.1.4. Taulukon 6.4 keskihajontalukuja verrattaessa nähdään, että HCT-yhdistelmän ohitusten aikana etenemän matkan pituuden keskihajonta on noin 39 metriä, mikä on hieman verrokkiyhdistelmän hajontaa suurempi. Lisäksi havaitaan, että HCT-yhdistelmän tapauksessa keskihajonta on yhtä suuri kuormattuna ja tyhjänä, kun taas verrokkiyhdistelmän tapauksessa hajonta on kuormattuna noin kuusi metriä pienempi kuin tyhjänä.

Ohittajan ohituksen aikana ajaman matkan pituus riippuu ohitettavan ajoneuvon ajaman matkan pituudesta sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituuksista. Ohittajien etenemät matkat vertautuvat siis toisiinsa jotakuinkin samoin kuin ohitettavien ajoneuvojen etenemät matkat. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa ohittajat etenivät keskimäärin 180 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 176 metriä. Tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneet ajoneuvot etenivät puolestaan keskimäärin 146 metriä mediaaniarvon ollessa 147 metriä. Keskiarvojen ero tyhjiä ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa todettiin t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi ( $p < 0,001$ ). Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat etenivät keskimäärin 158 metriä mediaaniarvon ollessa 156 metriä. Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohittajat puolestaan etenivät ohitusten aikana keskimäärin 142 metriä vastaavan mediaaniarvon ollessa 140 metriä. Myös kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ero ohittajien ajamissa matkoissa oli erittäin merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Tyhjää HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohittaneet joutuivat ohittamaan noin 11 metriä pidemmän ajoneuvon kuin tyhjän verrokkiyhdistelmää ohittajat, kun kuormattujen yhdistelmien pituusero oli noin 8 metriä. Pienempi pituusero selittää osin sitä, miksi kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ohituspituuksien ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä on pienempi kuin tyhjiä yhdistelmien ohituksissa. Ohittajien ohitusten aikana kulkemaan matkaan vaikuttavat myös ohituksissa käytetyt nopeudet, joita on käsitelty seuraavassa aliluvussa.

#### 6.1.4 Ohitusnopeudet

Kuten edellisissä aliluvuissa todettiin, ohitusten kestoon vaikuttavat ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon pituudet sekä ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeudet ohituksen aikana. Tässä aliluvussa käsitellään ensin ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia ohitusten aikana, sen jälkeen ohittavien ajoneuvojen nopeuksia ohitusten aikana ja lopuksi ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohituksen aikaisten nopeuksien välistä erotusta. Taulukossa 6.5 on kuvattu ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta. Tunnuslukuja ei ole taulukoitu erikseen niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto, sillä tunnusluvut olivat samoja tai lähes samoja kuin taulukossa 6.5 esitetyt.

*Taulukko 6.5. Ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruus tyhjänä, kuormattuna ja kaikissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa yhteensä.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskiarvo [km/h]	79,2	81,9	72,8	75,7	75,2	77,6
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien mediaani [km/h]	79,3	83,0	75,4	79,0	77,1	80,9
Ohitettavan ajoneuvon nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,1	4,7	11,1	11,3	9,4	10,1

Taulukosta 6.5 voidaan havaita, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli tyhjänä ajettaessa keskimäärin noin 79 kilometriä tunnissa ja kuormattuna ajettaessa keskimäärin noin 73 kilometriä tunnissa. Lisäksi taulukosta nähdään, että verrokkiyhdistelmän keskinopeus ohitusten aikana oli sekä tyhjänä että kuormattuna noin kolme kilometriä tunnissa suurempi kuin HCT-yhdistelmän. Sekä HCT-yhdistelmän että verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaiset keskinopeudet olivat kuormattuna ajettaessa noin kuusi kilometriä tunnissa alhaisempia kuin tyhjänä ajettaessa. Keskiarvojen erojen tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin riippumattomien otosten t-testillä. Testien avulla voitiin todeta, että kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa tyhjän yhdistelmän ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi kuormatun yhdistelmän vastaavasta keskiarvosta (riskitaso  $p < 0,001$ ). Lisäksi havaittiin, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän nopeuksien keskiarvot erosivat toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvon ero todettiin tilastollisesti merkitseväksi ( $p < 0,01$ ). Taulukkoon 6.5 on listattu myös ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskihajonnan arvoja. Niistä nähdään, että yhdistelmien ohitusten aikaiset nopeudet vaihtelivat kuormattuna merkittävästi enemmän kuin tyhjänä. Ajoneuvoyhdistelmien välillä ei keskihajonnassa kuitenkaan ole havaittavissa kovin suuria eroja; erityisesti kuormattuna ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien keskihajonnat ovat lähes yhtä suuria. Taulukossa 6.6 on puolestaan esitetty ohittaneiden ajoneuvojen keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja ohitusten aikana sekä nopeuksien keskihajonnan suuruutta. Arvot on laskettu sekä kaikista kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista että vain niistä kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

*Taulukko 6.6. Ohittavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten keskinopeuksien keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuksien keskihajonnan suuruudet. Kolmen ylimmän rivin arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tiealueilla havaituista ohituksista, ja kolmen alimman rivin arvot vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	110,2	112,8	108,3	107,5	109,1	109,1
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], kaikki ohitukset	108,7	110,8	109,6	108,8	109,2	109,1
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	10,1	10,9	16,9	15,7	14,7	14,6
Ohittajien nopeuksien keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	112,0	115,0	111,3	108,1	111,6	110,4
Ohittajien nopeuksien mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	112,5	112,6	111,6	108,7	111,9	109,6
Ohittajien nopeuksien keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	9,8	10,8	17,2	14,1	14,8	13,4

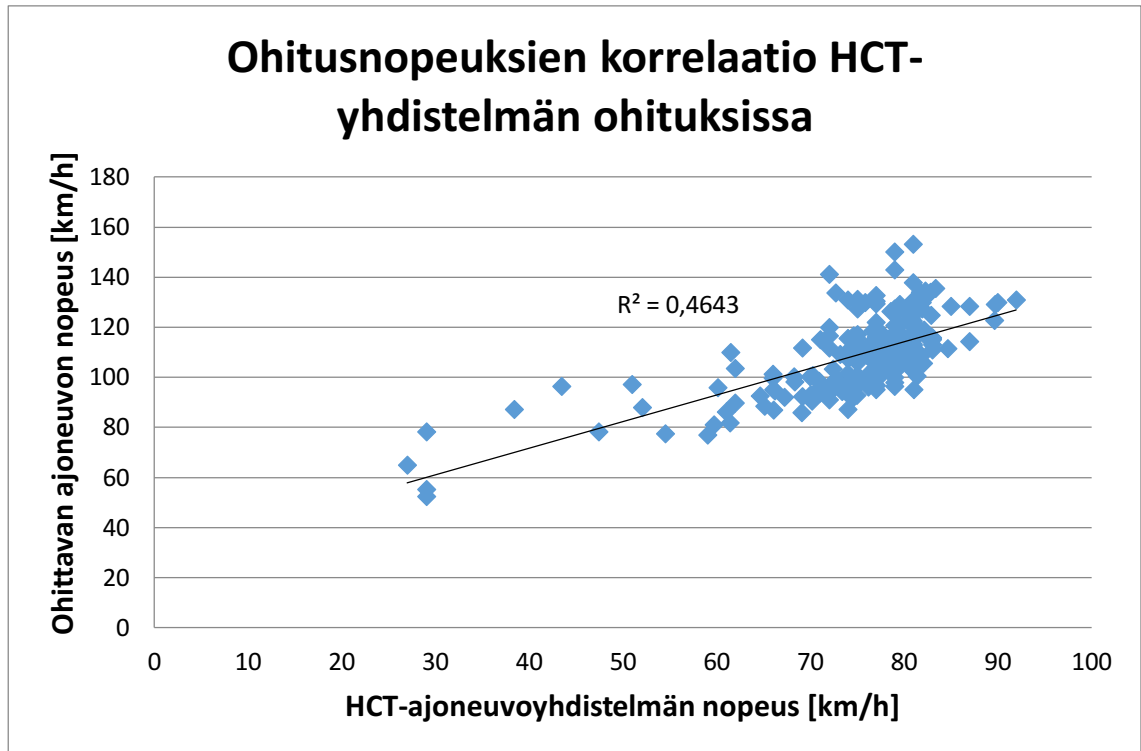
Taulukosta 6.6 nähdään, että tyhjänä ajaneen HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat ajoivat ohitusten aikana keskimäärin noin 110 km/h keskinopeudella, kun taas tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen ohitusten aikainen keskinopeus oli noin 113 km/h. Vastaavat keskinopeuksien mediaaniarvot ovat 1–2 km/h keskiarvoja alhaisempia. Kun otetaan huomioon ainoastaan henkilöautoilijoiden suorittamat tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohitukset, havaitaan, että keskinopeuksien keskiarvot ovat noin 2 km/h ja mediaaniarvot noin 2–4 km/h korkeampia. Kuormattu HCT-yhdistelmä ohitettiin vain hieman tyhjää HCT-yhdistelmää alhaisemmalla nopeudella: ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo on noin 108 km/h ja mediaaniarvo noin 110 km/h. Kuormatun HCT-yhdistelmän ohittaneiden henkilöautojen keskinopeuksien keskiarvo on puolestaan noin 111 km/h ja mediaaniarvo noin 112 km/h. Kuormattua verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajo-

neuvojen keskinopeudet laskivat sen sijaan merkittävästi tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksiin verrattuna: ohitusten aikaisten keskinopeuksien keskiarvo on sekä kaikkien ajoneuvojen että vain henkilöautoilijoiden suorittamissa ohituksissa noin 108 km/h ja medianiarvo noin 109 km/h. Tyhjää HCT-yhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeudet olivat siis hieman tyhjää verrokkiyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeuksia matalampia, kun taas kuormattua HCT-yhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen nopeudet olivat hieman kuormattua verrokkia ohittaneiden ajoneuvojen nopeuksia suurempia. Edellä esitettyjen ohitusnopeuksien keskiarvojen välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin riippumattomien otosten t-testillä. Testien mukaan havaitut erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä: ohittajien nopeudet eivät riippuneet tilastollisesti merkitsevästi siitä, oliko ohitettavana tyhjä vai kuormaamaton ajoneuvoyhdistelmä eikä siitä, oliko ohitettavana HCT- vai verrokkiyhdistelmä. Vaikka eroja ohittajien nopeuksien keskiarvoissa siis havaittiin, ne johtuivat testien mukaan verrattain suurella riskitasolla sattumasta.

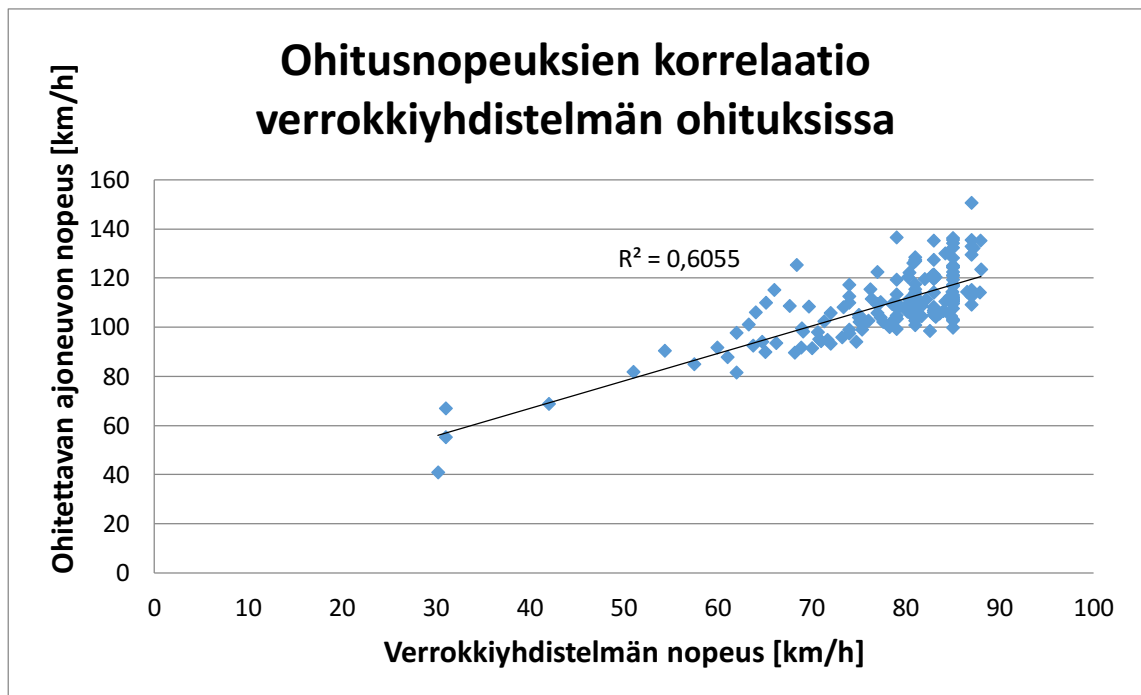
Ohittajien nopeuksien keskihajonnan arvoja vertailtaessa nähdään, että tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa keskihajonnassa ei ole juurikaan eroa ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa ohittajien nopeuksien keskihajonta on merkittävästi suurempi kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Kuormattujen yhdistelmien ohituksissa nopeuksien keskihajonnassa voidaan myös havaita suurempi ero verrokkiyhdistelmän ja HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien välillä kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Ero nähdään erityisesti vertailtaessa vain henkilöautojen suorittamia kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksia.

Taulukosta 6.5 nähtiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien olleen kuormattuina merkittävästi alhaisempia kuin tyhjinä. Taulukosta 6.6 voidaan puolestaan nähdä, että myös ohittajien nopeudet olivat kuormattua verrokkiyhdistelmää ohitettaessa alhaisempia kuin tyhjää verrokkiyhdistelmää ohitettaessa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien nopeuksissa vastaavaa muutosta ei kuitenkaan nähdä; ohittajien nopeudet olivat kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksissa keskimäärin lähes yhtä suuria kuin tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksissa. Näyttääkin siltä, että ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittavan ajoneuvon nopeuksilla on verrokkiyhdistelmän ohituksissa selvempi yhteys kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvojen ohitusten aikaisten nopeuksien riippuvuutta tutkittiin Pearsonin korrelaatiotarkastelujen avulla. Ohittajien ja ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän ohituksissa ja sekä tyhjien että kuormattujen yhdistelmien ohituksissa. Nopeuksien korrelaation havaittiin olevan selvästi voimakkaampi kuormattujen kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Lisäksi havaittiin, että nopeuksien korrelaatio on kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa selvästi voimakkaampi kuin kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksissa. Tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa nopeuksien korrelaatio oli HCT-yhdistelmän ohituksissa hieman verrokkiyhdistelmän ohituksissa havaittua suurempi. Ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän ja ohittavien ajoneuvojen nopeuksien välistä korrelaatiota on kuvattu graafisessa muodossa kuvissa 6.3 ja 6.4. Lisäksi taulukkoon 6.7 on listattu, kuinka suuri korrelaatiokerroin  $r$  arvo oli kunkin ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien nopeuksien välillä. Taulukossa on ilmoitettu nopeuksien välinen selitysaste, joka kuvaa sitä, kuinka suuren osan ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeus selittää ohittavan ajoneuvon nopeudesta. Selitysaste saadaan korottamalla korrelaatiokerroin  $r$  toiseen potenssiin. Prosenttiluvun saamiseksi on selitysaste kerrottava luvulla 100.





Kuva 6.3. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio.



Kuva 6.4. Verrokkiyhdistelmän ja sen ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien korrelaatio.

*Taulukko 6.7. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokertoimien ja selityssasteiden arvoja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Ohittajien ja ohitettavan ajoneuvon nopeuksien korrelaatiokerroin r	0,578	0,541	0,735	0,814	0,681	0,778
Selityssaste [%]	33,4	29,3	54,0	66,3	46,4	60,5

Ohitusten keston kannalta merkittävä tekijä on ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa havaittujen nopeuserojen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuserojen keskihajonnan arvoja on kuvattu taulukossa 6.8.

*Taulukko 6.8. Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon ohitusten aikaisten keskinopeuksien välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä nopeuseron keskihajonnan arvoja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Nopeuseron keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	31,0	30,9	35,5	31,7	33,8	31,5
Nopeuseron mediaani [km/h], kaikki ohitukset	29,2	28,0	34,6	29,2	32,2	29,1
Nopeuseron keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	8,7	9,2	11,5	9,3	10,8	9,2
Nopeuseron keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	32,5	32,9	38,1	32,4	36,0	32,6
Nopeuseron mediaani [km/h], ohittaja henkilöauto	32,0	31,0	35,9	30,0	34,6	30,7
Nopeuseron keskihajonta [km/h], ohittaja henkilöauto	8,4	9,0	11,5	9,1	10,8	9,1

Taulukosta 6.8 havaitaan, että ohittavan ajoneuvon ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän välisen nopeuseron keskiarvo oli yhtä suuri tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa; noin 31 km/h. Nopeuseron mediaaniarvot olivat hieman alhaisempia, tyhjän HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 29 km/h ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 28 km/h. Kun tarkastellaan vain henkilöautoilijoiden suorittamia tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia, nousevat nopeuseron keskiarvot kummankin yhdistelmän ohituksissa noin 33 kilometriin tunnissa ja mediaaniarvot HCT-yhdistelmän ohituksissa 32 kilometriin tunnissa ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 31 kilometriin tunnissa. Voidaan siis sanoa, että tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon välisessä nopeuserossa ei havaittu suurta eroa HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä. Myös riippumattomien otosten t-testi osoitti, ettei nopeuserossa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Kun tarkastellaan kuormattujen yhdistelmien ohituksissa havaittuja nopeuseroja, havaitaan, että erot HCT-yhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä ovat huomattavasti suurempia kuin tyhjien yhdistelmien väliset erot. Kuormattua HCT-yhdistelmää ohitettaessa ohittavan ajoneuvon nopeus oli keskimäärin 36 km/h ohitettavaa yhdistelmää suurempi, kun taas verrokkiyhdistelmän ohituksissa keskimääräinen nopeusero oli noin 32 km/h. Vastaavat mediaaniarvot olivat HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 35 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 29 km/h, joten nopeuserojen mediaaniarvot eroavat toisistaan nopeuserojen keskiarvoja enemmän. Kun tarkastellaan vain henkilöautoilijoiden suorittamia ohituksia, havaitaan, että ohittajan ja ohitettavan ajoneuvon väliset nopeuserot ovat hieman suurempia kuin kaikkien ajoneuvotyyppien suorittamista ohituksista lasketut nopeuserot. Henkilöautot ohittivat kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskimäärin 38 km/h HCT-yhdistelmää suuremmalla nopeudella. Nopeuserojen mediaaniarvo oli hieman alhaisempi, noin 36 km/h. Henkilöautot ohittivat kuormatun verrokkiyhdistelmän selvästi alhaisemmalla nopeudella: keskimääräinen nopeusero oli noin 32 km/h ja nopeuserojen mediaaniarvo noin 30 km/h. Riippumattomien otosten t-testin avulla todettiin, että kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ohitusten nopeuserojen keskiarvon ero HCT- ja verrokkiyhdistelmän välillä oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ).

Taulukosta 6.8 nähdään lisäksi, että kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa nopeusero oli merkittävästi suurempi kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Vastaavaa eroa ei kuitenkaan nähdä, kun verrataan nopeuseroja tyhjän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kuvissa 6.3 ja 6.4 ja taulukossa 6.7 esitetty havainto siitä, että verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet korreloivat voimakkaammin ohitettavan yhdistelmän nopeuden kanssa kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien nopeudet, voidaan siis nähdä myös nopeuseroissa: nopeuserot kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa ovat suuria, koska ohittajien nopeudet eivät merkittävästi laskeneet, vaikka ohitettavan yhdistelmän nopeus oli selvästi alhaisempi kuin tyhjänä.

Tässä aliluvussa esitetyt luvut ohittavien ja ohitettavien ajoneuvojen nopeuksista ja nopeuseroista ohitusten aikana selittävät osittain aliluvussa 6.1.2 esitettyjä havaintoja ohitusten kestoihin liittyen. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset ovat keskimäärin noin 0,5 sekuntia lyhytkestoisempia kuin tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitukset, koska ajoneuvojen välinen nopeusero on kuormattua HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohitettaessa keskimäärin suurempi kuin tyhjää HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohitettaessa. Myös kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero havaittiin hieman suuremmaksi kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tämä ei kuitenkaan näkynyt taulukossa 6.3 esitetyissä ohitusten kestoa kuvaavissa arvoissa, sillä

verrokkiyhdistelmä oli jatkettavan perävaunun vuoksi kuormattuna noin kolme metriä pidempi kuin tyhjänä. Ohitettavan verrokkiyhdistelmän kasvanut pituus siis käytännössä kumosi hieman suuremman nopeuseron vaikutuksen.

Ohitettavien ja ohittavien ajoneuvojen nopeuksien ja nopeuseron lisäksi tutkittiin ohittajien ohitusten aikaisen keskinopeuden ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen erotusta. Valtaosa kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista tapahtui alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 100 km/h: HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 8,6 % tapahtui 80 km/h -nopeusrajoitusalueella ja loput 100 km/h -nopeusrajoitusalueella. Vastaavasti verrokkiyhdistelmän ohituksista 9,1 % tapahtui alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 80 km/h ja loput alueilla, joilla nopeusrajoitus oli 100 km/h. Ohituksia tutkittiin sekä kesä- että talvinopeusrajoitusten voimassaoloajalta kertyneestä materiaalista. Koska suurimmalla osalla Ketosen Kuljetus Oy:n ajoneuvojen reitistä nopeusrajoitusta ei lasketa talvella arvosta 100 km/h arvoon 80 km/h, ei nopeusrajoituksen ylityksiä verrattu erikseen talvi- ja kesänopeusrajoitusten aikoina. Taulukossa 6.9 on kuvattu ohittajien käyttämän nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja sekä erotuksen keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Kolmen alimman rivin luvut on laskettu vain niistä ohituksista, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto.

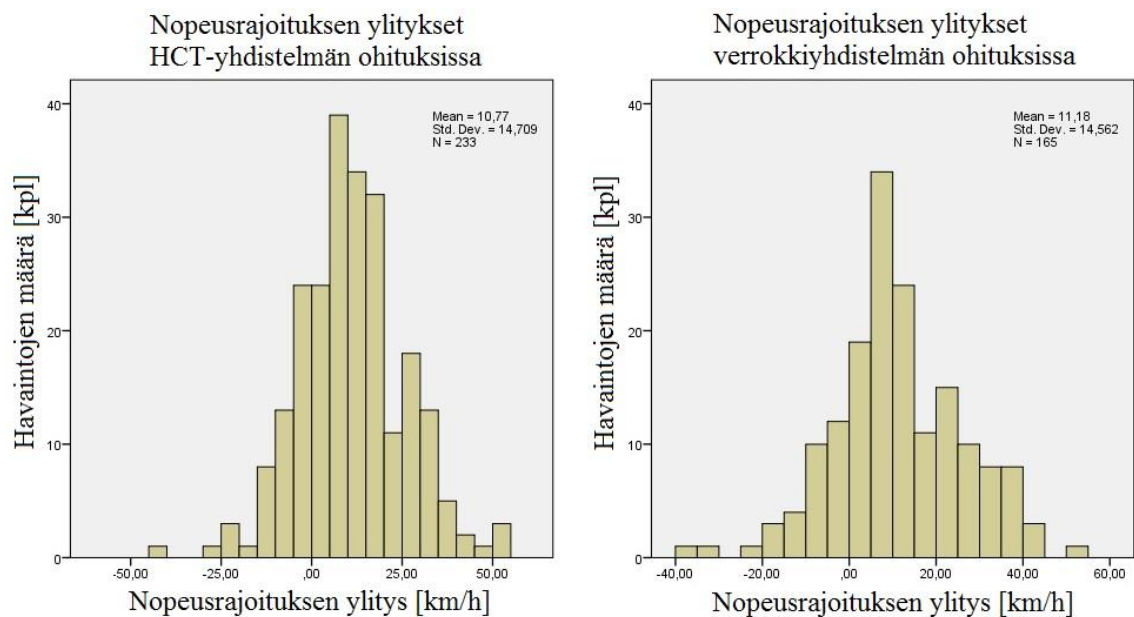
*Taulukko 6.9. Ohittaneiden ajoneuvojen ja ohituspaikalla vallitsevan nopeusrajoituksen välisen erotuksen keski- ja mediaaniarvoja kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], kaikki ohitukset	11,3	15,1	10,4	9,4
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], kaikki ohitukset	9,3	12,0	10,6	9,2
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], kaikki ohitukset	11,3	12,4	16,5	15,1
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskiarvo [km/h], ohittajana henkilöauto	13,2	17,4	13,1	9,8
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen mediaani [km/h], ohittajana henkilöauto	13,0	14,0	12,6	9,1
Ohittajan nopeuden ja nopeusrajoituksen erotuksen keskihajonta [km/h], ohittajana henkilöauto	11,1	12,4	17,0	14,7

Taulukossa 6.9 esitetyistä arvoista havaitaan, että ohittavien ajoneuvojen keskinopeudet ohitusten aikana ovat keskiarvoltaan 9–15 km/h ohituspaikalla vallinnutta nopeusrajoitusta korkeampia. Kun verrataan tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia, havaitaan, että verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset ovat keskimäärin suurempia

kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Sama ilmiö havaitaan, kun tarkastellaan vain niitä ohituksia, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto. Ero nopeusrajoitusten ylitysten keskiarvoissa tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten välillä ei kuitenkaan ole t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksia kuvaavista luvuista havaitaan, että HCT-yhdistelmän ohituksissa nopeusrajoituksen ylitykset ovat hieman suurempia kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tässäkään tapauksessa ero ei kuitenkaan ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Lisäksi taulukon 6.9 arvoista havaitaan, että nopeusrajoituksen ylityksissä ei ole suurta eroa tyhjän ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Sen sijaan verrokkiyhdistelmän ohituksia kuvaavista luvuista nähdään, että kuormattua verrokkia ohitettaessa nopeusrajoituksen ylitykset ovat keskimäärin huomattavasti pienempiä kuin tyhjää verrokkia ohitettaessa. Ero havaittiin myös tilastollisesti merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä ( $p < 0,05$ ).

Taulukon 6.9 perusteella voidaan sanoa, että ajoneuvoyhdistelmiä ohittavien ajoneuvojen nopeudet ohitusten aikana olivat pääsääntöisesti nopeusrajoituksen osoittamaa suurinta sallittua nopeutta suurempia. Tämä nähdään myös kuvasta 6.5, jossa on kuvattu ohittavien ajoneuvojen nopeuksien ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden välistä erotusta kaikissa kaksikaistaisilla tiealueilla havaituissa ohituksissa. Sellaisia ohituksia, joissa ohittajan keskinopeus ohituksen aikana oli korkeintaan nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden suuruinen, oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 22 % ja verrokkiyhdistelmän ohituksista noin 19 %. Ohittajien suurimmat havaitut ylinopeudet olivat molempien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa noin 50 km/h.



Kuva 6.5. Ohittajien nopeuden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeuden erotuksen frekvenssijakaumista nähdään, että nopeusrajoituksen ylitykset olivat hyvin yleisiä sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän että verrokkiyhdistelmän ohituksissa

### 6.1.5 Ohitusaikavälin pituus

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista tutkittiin ohittajien hyväksymien ja hylkäämien aikavälien pituuksia luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen aikavälien pituuksien avulla voitiin määrittää kunkin ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi vaaditun kriittisen aikavälin keskiarvo suurimman uskottavuuden menetelmällä. Taulukossa 6.10 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohittaneiden ajoneuvo-

jen kuljettajien hyväksymien aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä aikavälien keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Taulukossa 6.11 on puolestaan esitetty vastaavissa ohituksissa havaittujen pisimpien hylättyjen aikavälien keski-, mediaani- ja maksimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja.

*Taulukko 6.10. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa hyväksytyjen aikavälien keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä keskihajonnan arvoja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Hyväksytyjen aikavälien keskiarvo [s]	35,9	36,1	33,7	32,3
Hyväksytyjen aikavälien mediaani [s]	34,2	34,0	31,1	31,2
Hyväksytyjen aikavälien keskihajonta [s]	13,9	13,3	11,4	12,5
Pienin hyväksytty aikaväli [s]	14,3	17,3	14,1	10,9

*Taulukko 6.11. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa pisimmistä hylätyistä aikaväleista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Hylättyjen aikavälien keskiarvo [s]	18,0	17,8	14,4	13,6
Hylättyjen aikavälien mediaani [s]	21,0	15,5	15,6	13,1
Hylättyjen aikavälien keskihajonta [s]	16,7	19,4	14,8	14,5
Suurin hylätty aikaväli [s]	71,4	79,1	63,0	47,2

Taulukosta 6.10 nähdään, että tyhjien yhdistelmien ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvot ovat molempien yhdistelmien tapauksessa noin 36 sekuntia ja mediaaniarvot noin 34 sekuntia. Keskiarvoissa ei ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevää eroa tyhjien ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvo on 33,7 sekuntia, kun verrokkiyhdistelmän tapauksessa vastaava arvo on 32,3 sekuntia. Myöskään kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ei ohittajien hyväksymien aikavälien keskiarvojen välillä havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuormattujen yhdistelmien ohittajien hyväksymien aikavälien mediaaniarvot ovat kummankin yhdistelmän tapauksessa noin 31 sekuntia. Hyväksytyjen aikavälien arvoissa ei siis ole suuria eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa hyväksytyt aikavälit ovat noin kolme sekuntia lyhyempiä kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Hyväksytyjen ohitus-aikavälien keskiarvojen eroa tyhjän ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän sekä tyhjän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitseväksi. Taulukon 6.10 lukujen sekä tilastollisten testien perusteella hyväksytyjen aikavälien suuruuteen ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi se, oliko ohitettava ajoneuvo HCT- vai verrokkiyhdistelmä eikä se, oliko yhdistelmä tyhjä vai kuormattu. Merkittävä tekijä hyväksytyjen aikavälien jakauman kannalta on vastaantulevan liikenteen määrä.



Taulukossa 6.11 esitetyistä arvoista havaitaan, että myöskään pisimpien hylättyjen aikavälien keskiarvoissa ei ole suurta eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä; tyhjen yhdistelmien ohituksissa pisimmät hylätyt aikavälit olivat keskimäärin noin 18 sekunnin pituisia ja kuormattujen yhdistelmien ohituksissa noin 14 sekunnin pituisia. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohittajien hylkäämien pisimpien aikavälien keskiarvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, ja vastaava tulos saatiin myös kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista. Hylättyjen aikavälien mediaaniarvoissa voidaan kuitenkin nähdä merkittäviä eroja: tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa pisimpien hylättyjen aikavälien mediaaniarvo on 21 sekuntia ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa 15,5 sekuntia. Kuormattujen yhdistelmien tapauksessa mediaaniarvot ovat hieman alhaisempia: HCT-yhdistelmän ohituksissa 15,6 sekuntia ja verrokin ohituksissa 13,1 sekuntia. Mediaaniarvojen perusteella näyttää siltä, että suurempi osa HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajista hylkää pidempiä aikavälejä kuin verrokin ohittajista. Ero on suurempi tyhjen kuin kuormattujen yhdistelmien tapauksessa. Lisäksi taulukosta 6.11 havaitaan, että pisimmät hylätyt aikavälit ovat verrattain pitkiä: HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 71,4 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 79,1 sekuntia.

Koska hyväksyttyjen aikavälien kestossa ei havaittu juurikaan eroa HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten välillä, mutta pisimmät hylätyt aikavälit olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa mediaaniarvoltaan pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa, voidaan olettaa, että kriittinen aikaväli on HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Tämä voidaan nähdä myös taulukosta 6.12, johon on listattu kriittisen aikavälin arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu sellaisten ohitusten suhteellinen osuus, joissa ohittajat eivät hylänneet yhtään aikaväliä sekä sellaisten ohitusten suhteellinen osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.

*Taulukko 6.12. Kriittisen aikavälin ja sen keskihajonnan arvoja kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa. Taulukossa on lisäksi ilmoitettu niiden ohitusten osuus, jossa hylättyjä aikavälejä ei ollut, sekä niiden ohitusten osuus, joissa ohittajat käyttäytyivät epäjohdonmukaisesti eli hyväksyivät lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu	HCT, yhteensä	Verrokki, yhteensä
Kriittinen aikaväli [s]	27,2	26,1	25,0	22,9	25,2	23,9
Tarkasteltujen ohitusten määrä	88	51	138	113	226	164
Ei hylättyjä aikavälejä - ohitusten osuus [%]	39,8	43,1	42,8	45,1	41,6	44,5
Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden osuus [%]	21,6	15,7	19,6	16,8	20,4	16,5

Taulukosta 6.12 nähdään, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin keskiarvo oli 27,2 sekuntia, kun se tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa oli 26,1 sekuntia. Tyhjiä ajoneuvoyhdistelmiä ohitettaessa HCT-yhdistelmää ohittaneet siis vaativat keskimäärin hieman alle sekunnin pidemmän aikavälin kuin verrokkiyhdistelmää ohittaneet. Toisaalta keskihajonta oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista tehdyissä havainnoissa noin kaksi sekuntia suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksista tehdyissä havainnoissa. Kuormattuja yhdistelmiä ohitettaessa kriittinen aikaväli laski siten, että HCT-yhdistelmän ohituksissa kriittisen aikavälin keskiarvo oli 25,0 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 22,9 sekuntia. Ero kriittisessä aikavälissä oli siis suurempi kuormattujen kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista saatuja arvoja verrattaessa voidaan nähdä, että verrokkiyhdistelmän ohituksista suurempi osuus oli sellaisia ohituksia, joissa ohittajat hyväksyivät ensimmäisen aikavälin eikä yhtään aikaväliä hylätty. Kaikista verrokkiyhdistelmän ohituksista tällaisten ohitusten osuus oli 44,5 prosenttia, kun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa vastaava luku oli 41,6 prosenttia. Tämä osuus ohituksista koostuu lentävistä ja jono-ohituksista sekä sellaisista kiihdytysohituksista, joissa jonotus tapahtui kokonaisuudessaan ohituskieltoalueella. Yhdistelmien välinen ero on looginen sikäli, että verrokkiyhdistelmän ohittajien kriittinen aikaväli todettiin lyhyemmäksi kuin HCT-yhdistelmän ohittajien. Tällöin ohituksen suorittamiseksi riittävän alkuaikavälin löytymisen todennäköisyys oli verrokkiyhdistelmän ohittajien tapauksessa suurempi. Myös liikennemäärällä on merkittävä vaikutus riittävän suuren alkuaikavälin löytymisen todennäköisyyteen.

Epäjohdonmukaisesti käyttäytyneiden ohittajien osuus oli puolestaan suurempi HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän ohittajista. Kaikista HCT-ajoneuvoyhdistelmän kaksikaistaisilla tieosuuksilla ohittaneista kuljettajista 20,4 prosenttia hyväksyi lyhyemmän aikavälin kuin oli aiemmin hylännyt. Verrokkiyhdistelmän ohituksista vastaavaa epäjohdonmukaisuutta esiintyi 16,5 prosentissa ohituksista. Epäjohdonmukaisuutta oli havaittavissa erityisesti niin, että pitkiäkin aikavälejä saatettiin hylätä, mikäli vastaan tulija oli näkyvissä, mutta mikäli vastaan tulijoita ei ollut näkyvissä, saatettiin hyväksyä huomattavasti lyhyempikin aikaväli.

Aliluvussa 6.1.4 esitettiin ohittavan ajoneuvon nopeuden ja ohitettavan ajoneuvon nopeuden välistä korrelaatiota koskevia tietoja. Nopeuksien välillä todettiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio, ja ohitettavan ajoneuvon nopeuden todettiin selittävän noin 30–66 % ohittavan ajoneuvon nopeudesta. Tilastollisin testein haluttiin selvittää myös hyväksytyn aikavälin ja ohittavan ajoneuvon ohituksen aikaisen nopeuden välistä korrelaatiota eli sitä, onko lyhyemmän ohitusaikavälin hyväksyneiden ohittajien nopeus ohitusten aikana suurempi kuin pidemmän ohitusaikavälin hyväksyneiden ohittajien. Pearsonin korrelaatiotarkasteluun voitiin todeta, ettei hyväksytyn aikavälin ja ohittajan nopeuden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kummankaan ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa.

Ohittavan ajoneuvon ja hyväksytyn ohitusaikavälin suuruuden välisen korrelaation lisäksi tutkittiin, havaitaanko vastaan tulevan liikenteen määrän ja hyväksytyn ohitusaikavälin pituuden välillä korrelaatiota. Vastaan tulevan liikenteen määrä laskettiin luvussa 5.4 esitetyllä tavalla ja liikennemäärän yksikkönä käytettiin ajoneuvoa tunnissa. Korrelaatiotarkastelun lähtökohtana oli oletus, että mikäli vastaan tulevaa liikennettä on runsaasti, saattavat ohittamaan pyrkivät kuljettajat olla valmiita hyväksymään keskimääräistä lyhyempiä aikavälejä. Lisäksi pitkiä aikavälejä on tarjolla hyväksyttäväksi sitä vä-

hemmän, mitä suurempi liikennemäärä on. Tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota ei kuitenkaan Pearsonin korrelaatiotarkastelujen avulla havaittu kummankaan ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa. Tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa liikennemäärä selitti noin 3 % hyväksytyn ohitusaikavälin suuruudesta, muissa tapauksissa selitysaste oli 0 %. Se, että teorian mukaista korrelaatiota ei havaittu, johtuu todennäköisesti alhaisista liikennemääristä. Keskimääräinen vastaantulevan liikenteen määrä ohitusta edeltäneen aikajakson aikana oli tyhjän HCT-yhdistelmän tapauksessa 53 ajoneuvoa tunnissa, tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa 39 ajoneuvoa tunnissa, kuormatun HCT-yhdistelmän tapauksessa 49 ajoneuvoa tunnissa ja kuormatun verrokkiyhdistelmän tapauksessa 55 ajoneuvoa tunnissa. Liikennemäärien perusteella laskettu ajoneuvojen keskimääräinen aikaväli oli siis yli minuutin, eli huomattavasti suurempi, kuin keskimääräinen hyväksytty aikaväli. Kuten taulukossa 6.1 esitettiin, valtaosa ohituksista oli sellaisia, joissa vastaan tuleva ajoneuvo ei ollut ohituksen alkaessa näkyvässä, vaan näkemää rajoitti maastoeste. Ohitusaikaväliä laskettaessa selvitettiin, kuinka suuri olisi aikaväli, mikäli maastoesteet takaa ilmestyisi nopeusrajoituksen mukaista nopeutta ajava ajoneuvo välittömästi ohituksen alkamisen jälkeen. Alhaisista liikennemääristä johtuen seuraavan vastaantulijan ilmestymiseen meni kuitenkin huomattavasti pidempi aika, joten se vastaantulevien ajoneuvojen välinen todellinen aikaväli, jossa ohitus tapahtui, oli huomattavasti pidempi kuin edellä esitetyllä tavalla määritetty laskennallinen aikaväli. Lisäksi on huomattava, että suuressa osassa ohituksia ohitus ei alkanut välittömästi edellisen vastaantulijan kohtaamisen jälkeen, vaan kyseessä oli alkuaikavälissä tapahtunut ohitus.

Koska suurimmassa osassa kaksikaistaisilla teillä havaituista ohituksista näkemää rajoitti maastoeste, nähtiin hyödylliseksi laskea tunnuslukuja myös ohitushetkellä vallinneesta näkemäpituudesta. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemäpituuden keski- ja mediaaniarvoja sekä keskihajontaa on kuvattu taulukossa 6.13.

*Taulukko 6.13. Ohituksen alkuhetkellä vallinneen näkemän keski- ja mediaaniarvoja sekä ohitusnäkemän keskihajonnan arvoja.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Ohitusnäkemän keskiarvo [m]	989	1001	927	877
Ohitusnäkemän mediaani [m]	944	997	865	850
Ohitusnäkemän keskihajonta [m]	386	360	317	345

Taulukosta 6.13 nähdään, että ohitusnäkemäpituuden arvot vertautuvat toisiinsa jotakuinkin samoin kuin taulukossa 6.10 esitetyt hyväksyttyjen ohitusaikavälien arvot. Tyhjen yhdistelmien ohituksissa ohitusnäkemäpituuden keskiarvossa ei ole merkittävää eroa yhdistelmien välillä, kun taas kuormattujen yhdistelmien tapauksessa ohitusnäkemäpituuden keskiarvo on verrokkiyhdistelmän tapauksessa 50 metriä lyhyempi kuin HCT-yhdistelmän tapauksessa. Taulukosta nähdään myös, että kuormattujen yhdistelmien ohituksissa ohitusnäkemäpituudet olivat keskimäärin hieman lyhyempiä kuin tyhjen yhdistelmien ohituksissa.

### 6.1.6 Turva-aikojen pituus

Ohitusturvallisuutta tutkittiin mittaamalla ohitusten turva-aikoja. Kuten luvussa 5.4 esitettiin, turva-ajalla tarkoitettiin tämän työn yhteydessä sitä aikaa, joka kului ohituksen

päättymisestä siihen hetkeen, jolloin ohittanut ajoneuvo kohtasi ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon. Ohituksen päättymishetki puolestaan määriteltiin hetkeksi, jolloin ohittavan ajoneuvon perän ja ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nokan välinen etäisyys oli viisi metriä. Taulukossa 6.14 on esitetty kaikkien kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen ohitusten turva-aikojen pituuden keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä turva-aikojen keskihajonnan arvoja. Taulukossa 6.15 on esitetty vastaavat arvot vain niistä ohituksista, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa.

*Taulukko 6.14. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneissa ohituksissa mitattujen turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus kaikista mitatuista turva-ajoista.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Turva-aikojen keskiarvo [s]	67,0	70,9	55,1	53,4
Turva-aikojen mediaani [s]	43,5	40,0	38,0	27,5
Turva-aikojen keskihajonta [s]	58,4	70,2	55,6	58,6
Lyhin turva-aika [s]	5,0	5,0	3,0	4,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	3,3	11,8	11,9	13,2
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0	0	0,7	0
Ohitusten määrä [kpl]	90	51	143	114

*Taulukko 6.15. Turva-aikojen keski-, mediaani- ja minimiarvoja sekä lyhyiden turva-aikojen suhteellinen osuus niissä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Turva-aikojen keskiarvo [s]	17,0	6,7	9,3	11,1
Turva-aikojen mediaani [s]	17,0	6,0	9,0	11,0
Turva-aikojen keskihajonta [s]	1,0	1,7	4,5	2,3
Lyhin turva-aika [s]	16,0	5,0	3,0	7,0
Alle 11 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0	100	71,4	42,9
Alle 4 s pitkien turva-aikojen osuus [%]	0	0	14,3	0
Ohitusten määrä [kpl]	2	3	7	7

Taulukon 6.14 arvoista nähdään, että sekä turva-aikojen keski- että mediaaniarvot olivat kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituissa ohituksissa verrattain pitkiä. Tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksista mitattujen turva-aikojen keskiarvo oli HCT-yhdistelmän tapauksessa 67,0 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 70,9 sekuntia. Keskiarvoissa

ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa riippumattomien otosten t-testissä. Turva-aikojen mediaani oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 43,5 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 40 sekuntia. Tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksia tarkasteltaessa lyhin turva-aika oli 5 sekuntia kummankin yhdistelmän tapauksessa. 10 sekunnin mittaisten tai sitä lyhyempien turva-aikojen osuus on tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista 3,3 prosenttia ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksista 11,8 prosenttia. Hyvin lyhyiksi turva-ajoiksi määriteltäviä alle neljän sekunnin mittaisia turva-aikoja ei tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa havaittu.

Kuormattujen yhdistelmien ohituksissa havaitut turva-ajat olivat sekä keski- että mediaaniarvoiltaan hieman lyhyempiä: turva-ajan keskiarvo on kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 55,1 sekuntia ja kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa 53,4 sekuntia. Myöskään kuormattujen yhdistelmien tapauksessa turva-aikojen keskiarvot eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Turva-aikojen mediaaniarvo on puolestaan HCT-yhdistelmän ohituksissa 38 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän ohituksissa 27,5 sekuntia. 10 sekunnin mittaisten tai sitä lyhyempien turva-aikojen osuus on HCT-yhdistelmän ohituksista 11,9 prosenttia ja verrokkiyhdistelmän ohituksista 13,2 prosenttia. Alle neljän sekunnin mittaisia turva-aikoja havaittiin kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa yksi kappale, verrokkiyhdistelmän ohituksissa ei yhtäkään. Kyseisessä HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksessa ei kuitenkaan havaittu mainittavaa onnettomuusriskiä, eikä vastaantuleva ajoneuvo joutunut väistämään ohittajaa pientareelle. Yleisesti ottaen taulukon 6.14 perusteella voidaan sanoa, ettei HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusturvallisuudessa näytä turva-aikojen perusteella olevan puutteita normaalikokoisen ajoneuvoyhdistelmän ohitusturvallisuuteen verrattuna.

Turva-aikojen voidaan olettaa lyhenevän, kun liikennemäärät kasvavat. Niinpä turva-aikojen pituuksien ja vastaantulevan kaistan liikennemäärän välistä riippuvuutta tutkittiin Pearsonin korrelaatiotarkasteluiden avulla. Ohitusta edeltäneen viiden minuutin aikajakson aikana lasketun vastaantulevan liikenteen määrän havaittiin korreloivan tilastollisesti merkitsevästi turva-ajan pituuteen. Korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä (riskitaso  $p < 0,05$ ) sekä tyhjien että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa. Kuten oletettiin, korrelaatio oli negatiivinen, eli turva-aikojen havaittiin lyhenevän vastaantulevan liikenteen määrän kasvaessa. Tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa liikennemäärän selitysaste turva-aikojen pituudesta oli noin 14 %. Muissa tapauksissa selitysaste vaihteli viiden ja kuuden prosentin välillä.

Taulukossa 6.15 on esitetty turva-ajoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja vain niistä kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista, joissa vastaantulija oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Kuten taulukossa 6.1 esitettiin, näitä ohituksia oli kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista huomattavan pieni osuus: HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista yhdeksän ja verrokkiyhdistelmän ohituksista kymmenen kappaletta. Näissä ohituksissa turva-ajat olivat sekä keski- että mediaaniarvoiltaan huomattavasti lyhyempiä kuin kaikista ohituksista lasketut vastaavat arvot. Havaintojen määrä oli kuitenkin niin vähäinen, ettei lukujen vertaaminen ajoneuvoyhdistelmien välillä ole mielekäästä. Havaintoja tulee saada lisää erityisesti tiestöltä, jolla liikennemäärät ovat runsaampia, jotta voidaan tehdä havaintoja siitä, miten ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän pituus vaikuttaa turva-aikoihin ohituksissa, joissa vastaantuleva ajoneuvo on näkyvissä ohituksen alkaessa. Suuremman havaintoaineiston perusteella voitaisiin päätellä, kuinka hyvin HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohittavien ajoneuvojen kuljettajat pystyvät arvioimaan tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohitukseen vaaditun ajan ja matkan. Aliluvuissa 6.1.5 ja 6.1.6 esitettyjen lukujen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tähän

mennessä analysoiduissa ohituksissa ohittamaan pyrkivät olivat yleensä haluttomampia aloittamaan ohituksen, mikäli vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä. Ilmiö oli nähtävissä myös niissä ohituspäätöksissä, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli hyvinkin pitkän etäisyyden päässä. Ilmiö havaittiin sekä HCT- että verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa.

### 6.1.7 Muita havaintoja ohituksiin liittyen

Videomateriaalin perusteella pyrittiin havainnoimaan myös muita kuin edellisissä aliluvuissa mainittuja tekijöitä ohituksiin liittyen. Tarkoituksena oli selvittää, havaitaanko materiaalissa esimerkiksi keskeytyneitä ohituksia, hyvin lyhyitä turva-aikoja, ohituksia ohituskieltoalueilla tai muita ohitustilanteisiin liittyviä rikkeitä tai vaaratilanteita.

Koska ohituksen alkuhetki voidaan määritellä monella tavalla, ei myöskään keskeytyneen ohituksen määrittely ole yksiselitteistä. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa materiaalissa havaittiin muutamia tapauksia, joissa ohittamaan pyrkivä ajoneuvo siirtyi osittain vastaantulevan liikenteen kaistalle, mutta palasi lähes välittömästi omalle kaistalleen havaittuaan vastaantulevan ajoneuvon. Yhdessäkään tapauksista ohittamaan pyrkivä ajoneuvo ei siis ehtinyt kiihdyttää havaittavasti eikä siten siirtynyt edellä ajavan ajoneuvoyhdistelmän rinnalle edes osittain. Kyseisissä tapauksissa ajoneuvoyhdistelmien takana ajavat ajoneuvot todennäköisesti pyrkivät tarkastamaan, onko vastaantulevien kaistalla ajoneuvoja, eivätkä olleet vielä tehneet varsinaista päätöstä ohitukseen lähtemisestä. Tämän vuoksi tapauksia ei tule luokitella keskeytyneiksi ohituksiksi.

Kuten aliluvussa 6.1.6 todettiin, olivat turva-ajat molempien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa keskimäärin hyvin pitkiä. Yhdessäkään analysoiduista ohituksista ei havaittu, että ohitettava ajoneuvoyhdistelmä tai vastaantuleva ajoneuvo olisivat joutuneet väistämään pientareelle tai hidastamaan nopeuttaan merkittävästi edesauttaakseen ohituksen turvallista loppuun saattamista. Ohittajien ylinopeudet olivat yleisiä kummankin yhdistelmän ohituksissa, eikä niiden esiintymistiheydessä tai suuruuksissa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa yhdistelmien välillä. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän ohituksista osa oli sellaisia, joissa ohitus tapahtui joko kokonaan tai osittain ohituskieltoalueella. Ohituskieltoalueeksi katsottiin keltaisella sulkuviivalla tai ohittamisen kieltävällä liikennemerkillä osoitettu alue. Ohituksia, jotka tapahtuivat kokonaan tai osittain ohituskieltoalueella, oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän kannalta passiivisista ohituksista yhdeksän kappaletta ja verrokkiyhdistelmän kannalta passiivisista ohituksista kolme kappaletta. Lisäksi osassa ohituksia ohitus aloitettiin tai se päättyi keltaisen katkoviivan alueella. Keltaisella katkoviivalla ilmoitetaan alkavasta keltaisesta sulkuviivasta. Keltaisen katkoviivan alueella ohitusta ei enää tule aloittaa tai jo aloitettu ohitus on joko keskeytettävä tai saatettava mahdollisimman nopeasti loppuun. Ohituksia, joissa ylitettiin keltainen katkoviiva, muttei keltaista sulkuviivaa, oli HCT-yhdistelmän ohituksista kaksi kappaletta. Verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa tällaisia ohituksia ei havaittu. Ohituskieltoalueella osittain tai kokonaan tapahtuneiden ohitusten suurempi määrä saattaa olla merkki siitä, että ohittajilla oli vaikeuksia arvioida tavallista pidemmän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen kuluva matkaa. Havaintojen määrä on kuitenkin verrattain pieni luotettavien johtopäätösten tekemiseksi.

Tutkitun materiaalin eniten tavallisuudesta poikkeava havainto tehtiin 2+2-kaistaisella, yksiajorataisella Vuojärven varalaskupaikalla Sodankylän eteläpuolella. Tilanteessa kolme ajoneuvoyhdistelmää ajoi peräkkäin, ja näiden takana jonossa oli vielä kaksi henkilöautoa. Jonon ensimmäisenä ajoneuvona ajoi Ketosen Kuljetuksen HCT-ajoneuvoyh-



distelmä ja jonon toisena ajoneuvona oli Ketosen Kuljetuksen verrokkiyhdistelmä. Kolmantena jonossa ajanut kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun muodostama ajoneuvoyhdistelmä lähti ohittamaan edellä ajaneita ajoneuvoyhdistelmiä 2+2-kaistaiselle tieosuudelle saavuttuaan. Ohittavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuden ollessa vain hieman ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeutta suurempi, ohitukseen kului lähes koko kahden kilometrin mittainen 2+2-kaistainen tieosuus. Varalaskupaikan loppupäässä jonon perällä ajaneet kaksi henkilöautoa lähtivät ohittamaan edellä ajaneita kolmea ajoneuvoyhdistelmää vastaantulevan liikenteen kaistaa ajamalla, jolloin tiellä oli ohituksen ajan kolme samaan suuntaan ajavaa ajoneuvoa rinnakkain. Vastaantulevaa liikennettä ei tiellä ohituksen aikana ollut, joten erityistä vaaratilannetta ohitukseen ei liittynyt. Kuvassa 6.6 on verrokkiyhdistelmän etukameran taltioima kuva ohitustilanteesta.

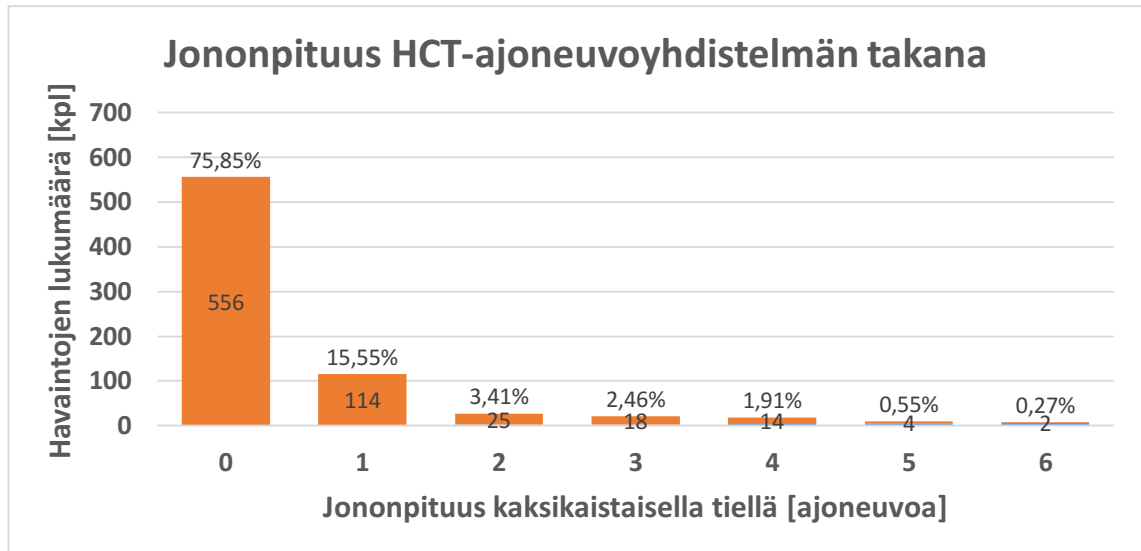


*Kuva 6.6. Kaksi henkilöautoa ohittamassa Ketosen Kuljetuksen verrokki- ja HCT-yhdistelmää ohittavaa ajoneuvoyhdistelmää 2+2-kaistaisella Vuojärven varalaskupaikalla.*

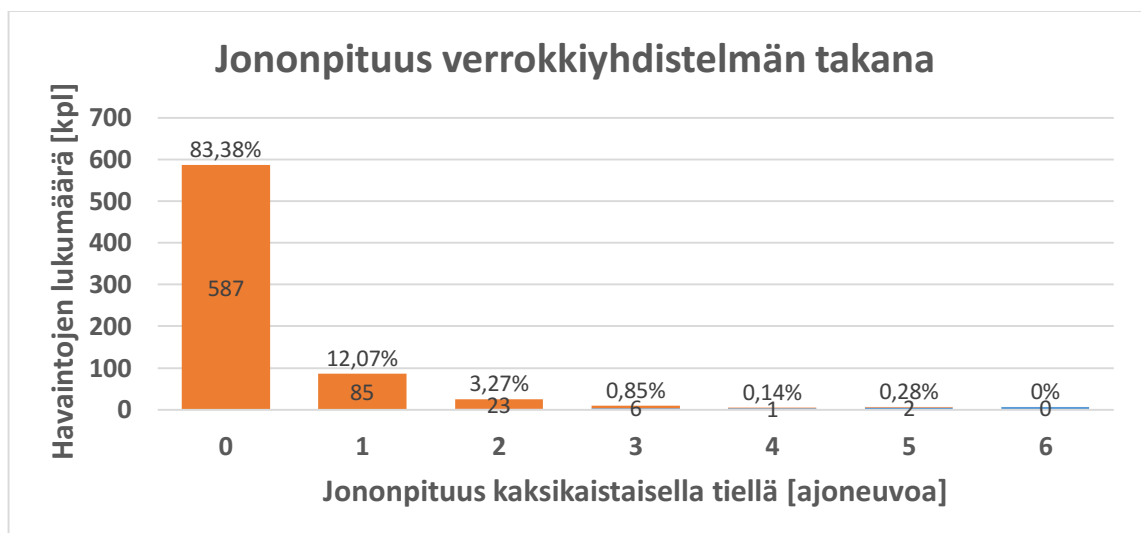
## **6.2 Jonoutuminen**

### **6.2.1 Jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana**

Kuten luvussa 5.4 esitettiin, jononpituutta ajoneuvoyhdistelmien perässä tutkittiin tilastoimalla ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrä viiden minuutin välein. Huomioon ei otettu havaintoja, jotka tehtiin taajama-alueilla tai tieosuuksilla, joilla oli useampia kuin yksi ajokaista ajoneuvoyhdistelmän tarkasteluhetkellä ajamaan suuntaan. Kuvassa 6.7 on esitetty HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja. Vaaka-akseli kuvaa jononpituutta ajoneuvoyhdistelmän takana ja pystyakseli kuvaa havaintojen lukumäärää. Kustakin jononpituudesta tehtyjen havaintojen määrä on ilmoitettu lukuarvona pylvään sisällä, ja kyseisen pituisista jonoista tehtyjen havaintojen osuus kaikista havainnoista on ilmoitettu prosenttiosuutena pylvään päällä. Kuvassa 6.8 on vastaavasti esitetty verrokkiyhdistelmän takana jonossa ajavien ajoneuvojen määrästä tehtyjä havaintoja. Kuvissa 6.7 ja 6.8 on yhdistetty sekä tyhjänä että kuormattuna ajaneiden ajoneuvoyhdistelmien takana jonottaneiden ajoneuvojen määrästä tehdyt havainnot.



Kuva 6.7. HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisien jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma. Pylvään sisällä oleva luku kuvaa kyseisen mittaisista jonoista tehtyjen havaintojen määrää ja pylvään yläpuolella oleva prosenttiluku kuvaa havaintojen osuutta kaikista jonohavainnoista. HCT-yhdistelmän tapauksessa havaintojen kokonaismäärä oli 733 kappaletta.



Kuva 6.8. Verrokkiyhdistelmän takana kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittujen erimittaisien jonojen määrä ja prosentuaalinen jakauma. Pylvään sisällä oleva luku kuvaa kyseisen mittaisista jonoista tehtyjen havaintojen määrää ja pylvään yläpuolella oleva prosenttiluku kuvaa havaintojen osuutta kaikista jonohavainnoista. Verrokkiyhdistelmästä jonohavaintoja saatiin yhteensä 704 kappaletta.

Kuvasta 6.7 havaitaan, että valtaosa, eli noin 76 prosenttia HCT-yhdistelmään liittyvistä havainnoista on sellaisia, joissa ajoneuvoyhdistelmän takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Vajaa 16 prosenttia havainnoista on sellaisia, joissa HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaittiin yksi jonottava ajoneuvo. Pisimmät havaitut jonot HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä olivat kuuden ajoneuvon mittaisia. Havaintoja viiden ja kuuden auton mittaisista jonoista oli kuitenkin yhteensä alle prosentti kaikista havainnoista. Sellaisia havaintoja, joissa HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana oli jonossa vähintään yksi ajoneuvo, oli noin 24 prosenttia. Jononpituutta verrokkiyhdistelmän takana kuvaavasta kuvasta 6.8 havaitaan vastaavasti, että yli 83 prosenttia havainnoista oli sellaisia, joissa verrokkiyhdistelmän takana ei ollut yhtään ajoneuvoa jonossa. Pisimmät havaitut jonot olivat viiden

ajoneuvon pituisia, eli hieman lyhyempiä kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. Sellaisia havaintoja, joissa verrokkiyhdistelmän takana oli vähintään yksi ajoneuvo jonossa, oli noin 17 prosenttia. Sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän että verrokkiyhdistelmän takana havaittiin hieman useammin ja hieman pidempiä jonoja kuormattuna kuin tyhjänä ajettaessa. Tämä todennäköisesti selittyy kuormattujen yhdistelmien tyhjiä yhdistelmiä alhaisemmilla nopeuksilla sekä sillä, että kuormatut yhdistelmät aiheuttavat tyhjiä yhdistelmiä suuremman näkemästeen, jolloin sopivan ohituspaikan löytäminen saattaa olla vaikeampaa.

Kuvien 6.7 ja 6.8 tietoja vertailemalla voidaan todeta, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaittiin jonottavia ajoneuvoja hieman useammin kuin verrokkiyhdistelmän takana. Lisäksi pisimmät havaitut jonot HCT-yhdistelmän perässä olivat kuuden ajoneuvon mittaisia, kun taas verrokkiyhdistelmän perässä havaittiin pisimmillään viiden ajoneuvon mittaisia jonoja. HCT- ja verrokkiyhdistelmän välinen ero jonon keskimääräisessä pituudessa todettiin riippumattomien otosten t-testillä tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso  $p < 0,001$ ). Lisäksi t-testillä todettiin, että keskimääräinen jononpituus kuormatun ajoneuvoyhdistelmän takana oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin keskimääräinen jononpituus tyhjän ajoneuvoyhdistelmän takana ( $p < 0,01$ ). Kuten kuvassa 6.1 osoitettiin, oli HCT- ja verrokkiyhdistelmän liikennöintiajoissa jonkin verran eroa: HCT-ajoneuvoyhdistelmästä saatiin enemmän tietoa aamu- ja keskipäivän tunneilta, kun taas verrokkiyhdistelmästä kerätyt tiedot painoutuivat aikaisen aamun ja alkuillan tunteihin. Ero liikennöintiajoissa vaikutti todennäköisesti myös havaintoihin jonojen pituuksista, sillä liikennemäärät eri vuorokaudenaikoina ovat erisuuruisia. Myös erot ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksissa selittävät osittain jononpituuteen liittyviä eroja. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 6.3.1.

### 6.2.2 Seuranta-ajan kesto

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin myös seuranta-aikoja eli sitä, kuinka kauan ajoneuvot ajoivat ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa ennen kuin lähtivät ohittamaan tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Seuranta-ajaksi määriteltiin aika, jonka ajoneuvo ajaa HCT- tai verrokkiyhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottavana ajoneuvona. Käytännön syistä seuranta-ajaksi ei määritelty jonottamiseen kokonaisuutena käytettyä aikaa, sillä jonotukseen käytetyn kokonaisajan määrittäminen on sitä epätarkempaa, mitä pidempi jono on. Määrittelemällä seuranta-aika edellä esitetyllä tavalla, voitiin tutkia sitä, millainen vaikutus ajoneuvoyhdistelmien takana ajettuun jonotusaikaan on sillä, että ohitettavana on tavallista pidempi ajoneuvoyhdistelmä. Määrittelytavasta johtuen jono-ohituksissa seuranta-aika merkittiin nolaksi. Luonnollisesti myös lentävissä ohituksissa seuranta-aika oli nolla sekuntia. Taulukkoon 6.16 on listattu kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista lasketut seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimi-arvot. Taulukon 6.17 arvot on puolestaan laskettu vain kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista kiihdytysohituksista. Seuranta-aikojen lisäksi taulukoissa on ilmoitettu aika-arvoja vastaavat etäisyydet, jotka on laskettu käyttämällä ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia. Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia on käsitelty tarkemmin aliluvussa 6.3.1.

*Taulukko 6.16. Ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvot ja niitä vastaavat etäisyydet. Arvot on laskettu kaikista kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneista ohituksista. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	98	135	115	73
Seuranta-ajan mediaani [s]	37	48	36	21
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	153	260	234	124
Maksimiseuranta-aika [s]	924	1226	1615	658
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	2140	3060	2380	1530
Mediaania vastaava etäisyys [m]	810	1090	750	440
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	20 170	27 760	33 470	13 780

*Taulukko 6.17. Kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaittuja kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski- ja mediaaniarvot ja niitä vastaavat etäisyydet. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keskihajonta.*

Ohitettava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	142	222	175	120
Seuranta-ajan mediaani [s]	85	93	76	78
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	165	304	268	140
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	3100	5026	3630	2510
Mediaania vastaava etäisyys [m]	1860	2110	1570	1630

Taulukon 6.16 arvoista nähdään, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaneet ajoneuvot ajoivat HCT-yhdistelmän takana ensimmäisenä jonossa keskimäärin 98 sekuntia ennen ohituksen alkamista. Koska hyvin pitkät seuranta-ajat kasvattavat keskiarvoa voimakkaasti, kuvaavampi tunnusluku on seuranta-aikojen mediaaniarvo, joka tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten tapauksessa on 37 sekuntia. Sekä seuranta-ajan keski- että mediaaniarvot ovat tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa pidempiä: seuranta-ajan keskiarvo on 135 sekuntia ja mediaaniarvo 48 sekuntia. Riippumattomien otosten t-testi kuitenkin osoitti, etteivät seuranta-aikojen keskiarvot tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia edeltäneet seuranta-ajat ovat keskiarvoltaan hieman pidempiä kuin tyhjän HCT-yhdistelmän tapauksessa, mutta vastaavissa mediaaniarvoissa ei ole suurta eroa. Kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksia edeltäneet seuranta-ajat ovat sen sijaan sekä keski- että mediaaniarvoltaan merkittävästi lyhyempiä

kuin tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Seuranta-ajan keski- ja mediaaniarvot olivat kuormatun verrokkiyhdistelmän tapauksessa myös lyhyempiä kuin kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja kuormatun verrokkiyhdistelmän välinen ero seuranta-ajan keskiarvossa ei kuitenkaan ole riippumattomien otosten t-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä. Tyhjiin yhdistelmien seuranta-ajoista pisin havaittiin ennen verrokkiyhdistelmän ohitusta, kun taas kuormattujen yhdistelmien ohituksia edeltäneistä seuranta-ajoista pisin havaittiin ennen HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusta. Pisimmät seuranta-ajat olivat kuitenkin yksittäistapauksia ja poikkesivat selvästi muusta aineistosta.

Taulukossa 6.17 esitetyt seuranta-ajan keski- ja mediaaniarvot ovat taulukon 6.16 vastaavia arvoja suurempia, sillä näitä lukuja laskettaessa huomioon on otettu ainoastaan kiihdytysohituksia edeltäneet seuranta-ajat ja nolliksi merkityt seuranta-ajat ennen lentäviä ohituksia ja jono-ohituksia on jätetty huomiotta. Taulukosta nähdään, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneet ajoneuvot ajoivat yhdistelmän perässä ensimmäisenä jonossa keskimäärin 142 sekuntia ennen ohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 85 sekuntia. Tyhjän verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneet ajoneuvot ajoivat yhdistelmän perässä ensimmäisenä jonottajana keskimäärin 222 sekunnin ajan vastaavan mediaaniarvon ollessa 93 sekuntia. Kuormatun HCT-yhdistelmän perässä ajettiin keskimäärin 175 sekuntia ennen kiihdytysohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 76 sekuntia. Kuormatun verrokkiyhdistelmän perässä puolestaan ajettiin keskimäärin 120 sekuntia ennen kiihdytysohitusta vastaavan mediaaniarvon ollessa 78 sekuntia. Vaikka keskiarvojen erot ovat huomattavia, eivät keskiarvot kuitenkaan riippumattomien otosten t-testin perusteella eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Kun verrataan taulukossa 6.17 ilmoitettuja mediaaniarvoja, huomataan, ettei niissä ole kovin suurta eroa HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän välillä. Sekä tyhjiin että kuormattujen yhdistelmien lukuja verrattaessa nähdään, että mediaaniarvot ovat HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa hieman verrokkiyhdistelmän vastaavia arvoja pienempiä. Näiden lukujen valossa ei siis näytä siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen olisi keskivertokuljettajalle vaikeampaa kuin normaalipituisen ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen.

Kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen pituuksia vertailtiin myös ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina. HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksista tehdyt havainnot on esitetty taulukossa 6.18 ja verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksista tehdyt havainnot taulukossa 6.19.

*Taulukko 6.18. HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.*

Ohittava ajoneuvo	Henkilöauto	Pakettiauto	Peräkärryllinen henkilö- tai pakettiauto	Raskas ajoneuvo	Matkailuauto
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	157	146	267	259	103
Seuranta-ajan mediaani [s]	67	83	237	189	76
Seuranta-ajan maksimi [s]	1615	805	663	716	182
Havaintojen määrä [kpl]	112	29	6	6	3

*Taulukko 6.19. Verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja ohittaneiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien mukaan jaoteltuina.*

Ohittava ajo-neuvo	Henkilöauto	Pakettiauto	Peräkäräyllinen henkilö- tai pakettiauto	Raskas ajoneuvo
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	166	90	237	55
Seuranta-ajan mediaani [s]	83,5	52	161	55
Seuranta-ajan maksimi [s]	1226	393	503	55
Havaintojen määrä [kpl]	72	23	5	1

Taulukoista 6.18 ja 6.19 havaitaan ohitusta edeltäneissä seuranta-ajoissa jonkin verran eroja eri ajoneuvotyyppien välillä. Seuranta-aikojen mediaaniarvot ovat suurimpia niissä ohituksissa, joissa ohittavana ajoneuvona on henkilö- tai pakettiauton ja peräkäräyn yhdistelmä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa myös raskaiden ajoneuvojen seuranta-aikojen mediaani on pidempi kuin henkilö-, paketti- ja matkailuautojen seuranta-aikojen mediaani. Verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksella ohittaneista ajoneuvoista vain yksi oli raskas ajoneuvo. Kyseisessä tapauksessa seuranta-aika oli keskimääräistä lyhyempi. Taulukoiden arvot voivat viitata siihen, että hitaammin kulkevilla ajoneuvoilla, kuten henkilö- tai pakettiauton ja peräkäräyn yhdistelmällä sekä raskailla ajoneuvoilla saattaa olla suurempi kynnys ohittaa tavallista pitempi HCT-ajoneuvoyhdistelmä kuin verrokkiyhdistelmä. Havaintojen lukumäärä on kuitenkin niin pieni, ettei niistä voi vetää yleistettävää johtopäätöksiä. On myös huomattava, että henkilö- tai pakettiauton ja peräkäräyn yhdistelmän, joidenkin pakettiautojen sekä kuorma-autojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurin sallittu nopeus on 80 kilometriä tunnissa, jolloin HCT- tai verrokkiyhdistelmän ohittamisen tuoma aikahyöty on kyseenalainen, mikäli ajoneuvokohtaista nopeusrajoitusta noudatetaan. Alhaisemmalla nopeudella myös ohittaminen kestää kauemmin, joten on luonnollista, että sopivaa ohituspaikkaa joudutaan odottamaan suurempaa nopeutta ajavia henkilöautoja kauemmin.

Kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen lisäksi tutkittiin niiden jonotusten kestoja, jotka päättyivät jostakin muusta syystä. Muita syitä jonotuksen päättymiseen olivat esimerkiksi jonottajan liittyminen pois seurattavien ajoneuvoyhdistelmien ajamalta tieltä, ajoneuvoyhdistelmien liittyminen pois ajamaltaan tieltä, 2+2-kaistaisella tieosuudella tapahtunut ohitus tai jonottajan jättäytyminen niin kauas ajoneuvoyhdistelmästä, ettei sen enää katsottu olevan jonossa. Taulukossa 6.20 on kuvattu näiden seuranta-aikojen kestojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, yhteenlaskettua jonotusaikaa sekä jonotushavaintojen lukumäärää.



*Taulukko 6.20. Sellaisten seuranta-aikojen keski-, mediaani- ja maksimiarvoja, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella. Taulukossa on ilmoitettu myös kyseisten seuranta-aikojen summa sekä havaintojen lukumäärä. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu seuranta-ajan keski-, mediaani- ja maksimiarvoja vastaavien etäisyyksien arvot.*

Tarkasteltava ajoneuvo	HCT, tyhjä	Verrokki, tyhjä	HCT, kuormattu	Verrokki, kuormattu
Seuranta-ajan keskiarvo [s]	376	127	522	480
Seuranta-ajan mediaani [s]	259	78	287	202
Seuranta-ajan maksimi [s]	1647	416	5548	3409
Seuranta-ajan keskihajonta [s]	376	113	949	746
Seuranta-aika yhteensä [hh:mm:ss]	1:52:48	0:19:06	4:38:16	3:20:12
Havaintojen määrä [kpl]	18	9	32	25
Keskiarvoa vastaava etäisyys [m]	8210	2880	10 820	10 050
Mediaania vastaava etäisyys [m]	5650	1770	5950	4230
Maksimiarvoa vastaava etäisyys [m]	35 960	9420	114 970	71 400

Taulukosta 6.20 nähdään, että sellaisten seuranta-aikojen, jotka eivät pääty ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, keski-, mediaani- ja maksimiarvot ovat suurempia HCT- kuin verrokkiyhdistelmällä. Seuranta-aikojen keskiarvoissa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Taulukosta 6.20 nähdään lisäksi, että seuranta-aikojen summa on HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa merkittävästi suurempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Sellaisia jonotuksia, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, myös havaittiin HCT-ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa aineistossa useampia kuin verrokkiyhdistelmän aineistossa. Lukujen valossa näyttää siis siltä, että sellaisten ajoneuvojen määrä, jotka eivät kaksikaistaisella tieosuudella ohita edellä ajavaa ajoneuvoyhdistelmää, on suurempi HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Tämä voi puolestaan olla yksi syy siihen, miksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä havaittiin keskimäärin useammin ja keskimäärin pidempiä jonoja kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Tulee kuitenkin huomata, että havaintoja sellaisista jonotuksista, jotka eivät päättäneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, on melko vähän verrattuna kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita ohituksia edeltäneisiin jonotuksiin. Luotettavien johtopäätösten tekemiseksi vaadittaisiin suurempi määrä havaintoja.

HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana havaituista jonottajista, jotka eivät suorittaneet ohitusta kaksikaistaisilla tieosuuksilla, 62 % oli henkilöautoja, 24 % pakettiautoja, 4 % henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmiä ja loput 10 % raskaita ajoneuvoja. Verrokkiyhdistelmän tapauksessa jonottavien ajoneuvotyyppien jakauma oli samaa suuruusluokkaa: 68 % henkilöautoja, 12 % pakettiautoja, 9 % henkilö- tai pakettiauton ja peräkärryn yhdistelmiä sekä 12 % raskaita ajoneuvoja. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa valtaosa havainnoista oli siis henkilöautoja, ja esimerkiksi peräkärryllisten

henkilö- tai pakettiautojen ja raskaiden ajoneuvojen osuus havainnoista oli verrattain pieni. Kuitenkin henkilöautojen osuus yhteenlasketusta jonotusajasta oli sekä HCT- että verrokkiyhdistelmällä alle 50 %, kun taas raskaiden ajoneuvojen osuus oli kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa noin 30 %. Loput noin 20 prosenttia jakaantui pakettiautojen ja peräkärryllisten henkilö- tai pakettiautojen kesken. Tulokset vaikuttavat loogisilta: hitaammin ajavia ajoneuvoja on jonottajista suhteellisen pieni osa, ja koska ohituksen tuoma hyöty on pienempi kuin henkilöautoilla, ajavat nämä ajoneuvot ajoneuvoyhdistelmien takana jonossa pidempiä matkoja ohittamatta niitä.

### **6.3 Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen**

#### **6.3.1 Keskinopeudet**

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeuksia tutkittiin jakamalla ajoneuvoyhdistelmille yhtenevän reitin pituus matkaan käytetyllä ajalla. Taukoihin käytetty aika luonnollisesti vähennettiin kokonaismatka-ajasta keskinopeutta laskettaessa. Keskinopeuksia laskettiin 4.10.2015–5.11.2015 väliseltä ajalta niiltä päiviltä, joilta myös ohituksia analysoitiin. HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus tyhjänä Rovaniemen keskustan ja Ivalon kuormanvaihtopaikan välisellä, noin 286 kilometrin mittaisella matkalla oli alimmillaan 75,1 km/h ja enimmillään 81,4 km/h. Keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo kahdeksalla tyhjänä ajettulla matkalla oli 78,6 km/h. Verrokkiyhdistelmän keskinopeus tyhjänä vaihteli puolestaan välillä 76,3–84,1 km/h ja keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo oli 81,5 km/h. Kuormattuna ajettaessa keskinopeudet olivat kummallakin ajoneuvoyhdistelmästä merkittävästi alhaisempia: kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus Ivalon kuormanvaihtopaikan ja Rovaniemen keskustan välillä vaihteli välillä 71,2–77,7 km/h. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeuksien aritmeettinen keskiarvo yhdeksällä kuormattuna ajettulla matkalla oli 74,6 km/h. Kuormatun verrokkiyhdistelmän keskinopeus puolestaan vaihteli välillä 71,6–78,3 km/h keskinopeuksien aritmeettisen keskiarvon ollessa 75,7 km/h.

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet yhdensuuntaisten matkojen aikana siis vertautuvat toisiinsa samalla tavoin kuin taulukossa 6.4 esitetyt nopeudet ohitusten aikana: molempien ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet olivat kuormattuina merkittävästi alhaisempia kuin tyhjänä ajettaessa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli kuormattuna keskimäärin noin 4 km/h alhaisempi kuin tyhjänä, verrokkiyhdistelmän keskinopeus kuormattuna oli puolestaan noin 6 km/h alhaisempi kuin tyhjänä. Taulukossa 6.4 havaitut erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän ohitusten aikaisissa nopeuksissa toistuivat myös keskinopeuksissa: HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli tyhjänä keskimäärin 3 km/h tyhjän verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisempi, ja kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus oli keskimäärin 1 km/h kuormatun verrokin nopeutta alhaisempi. Havaintojen perusteella näyttää siltä, että kuormaaminen vaikutti enemmän verrokin kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeuteen. On kuitenkin huomattava, että keskinopeuksia tutkittiin varsin rajalliselta ajalta. Ajoneuvodynamiikkaan tarkemmin keskittyvissä tutkimuksissa voitaisiin keskinopeuksia tutkia laajemmin ja selvittää eri tekijöiden vaikutuksia keskinopeuksiin. Ohitusten aikaisten nopeuksien ja yhdensuuntaisten matkojen keskinopeuksien lisäksi ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin Saariselällä sijaitsevassa Magneettimäessä.

#### **6.3.2 Nopeudet Magneettimäessä**

Ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia Saariselän pohjoispuolella sijaitsevassa, kuormattuna noustavassa Magneettimäessä tutkittiin aikaväleillä 4.10.2015–27.11.2015 ja 17.2.2016–

4.3.2016 taltioidusta tutkimusmateriaalista. Materiaalissa oli sekä kuivalla syyskelillä, saateisella säällä että talviolosuhteissa suoritettuja nousuja, joten olosuhteissa esiintyi huomattavaa vaihtelua. Tutkitun ajanjakson aikana HCT-ajoneuvoyhdistelmä nousi Magneettimäen 96 kertaa ja verrokkiyhdistelmä 55 kertaa. Ero nousujen määrässä johtui siitä, että verrokkiyhdistelmä nouti puuta ajoittain myös Saariselän eteläpuolelta, jolloin reitti ei ulottunut Magneettimäkeen asti. Nousun kestoon, keskinopeuksiin, alimpiin nopeuksiin sekä alkunopeuksiin liittyviä tietoja on kuvattu taulukossa 6.21.

*Taulukko 6.21. Magneettimäen nousujen kestojen, keski- ja alkunopeuksien sekä nousuissa havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvoja ja keskihajonnan arvoja.*

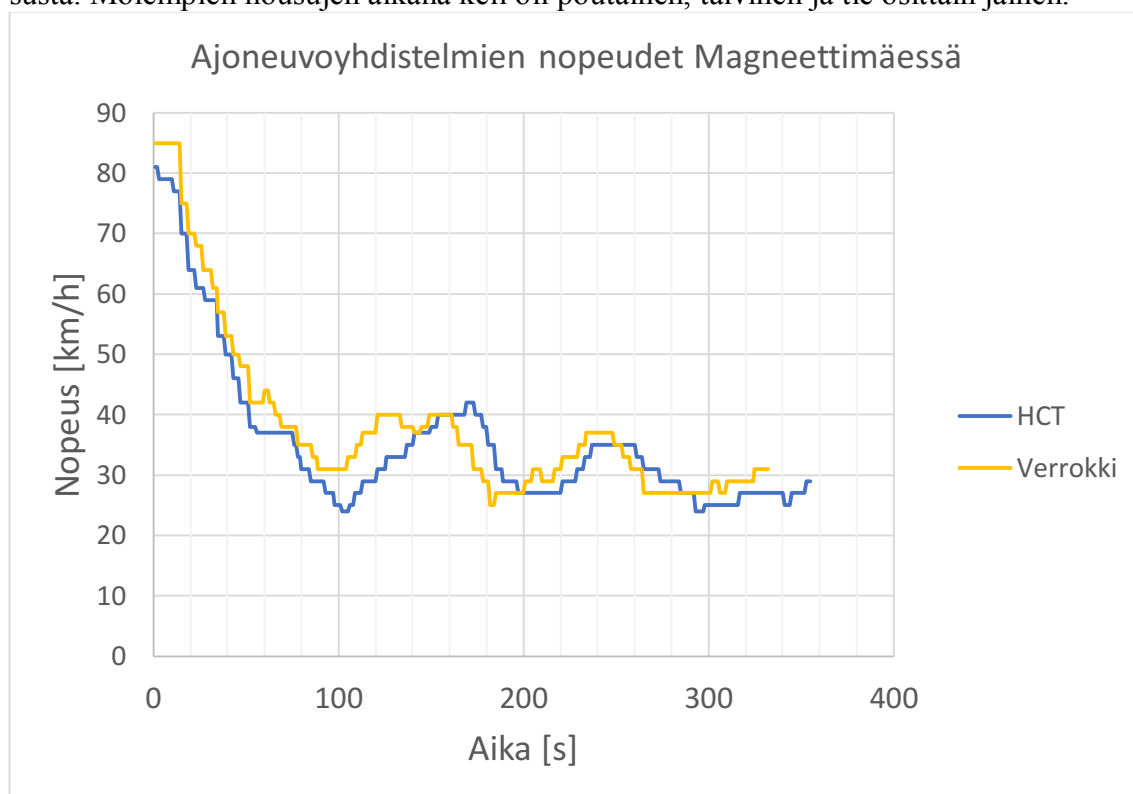
Tarkasteltava ajoneuvo	HCT-ajoneuvoyhdistelmä	Verrokkiyhdistelmä
Nousujen kestojen keskiarvo [s]	354	331
Nousujen keston keskihajonta [s]	18,0	21,0
Keskinopeuksien keskiarvo [km/h]	36,6	39,2
Keskinopeuksien keskihajonta [km/h]	1,9	2,4
Alimpien nopeuksien keskiarvo [km/h]	23,4	25,6
Alimpien nopeuksien keskihajonta [km/h]	3,3	3,7
Nousujen alkunopeuksien keskiarvo [km/h]	80,6	81,2
Nousujen alkunopeuksien keskihajonta [km/h]	2,5	3,7

Kuten taulukosta 6.21 nähdään, noin 3600 metrin pituinen Magneettimäen nousu kesti HCT-ajoneuvoyhdistelmällä keskimäärin 23 sekuntia verrokkiyhdistelmää kauemmin. Ajoneuvoyhdistelmien välinen ero keskimääräisessä nousuajassa havaittiin riippumattomien otosten t-testin avulla tilastollisesti erittäin merkitseväksi (riskitaso  $p < 0,001$ ). Nousun kesto vaihteli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 323–400 sekunnin ja verrokkiyhdistelmällä 292–386 sekunnin välillä. Nousun keston ja pituuden avulla lasketun keskinopeuden keskiarvo on HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 36,6 km/h ja verrokkiyhdistelmällä 39,2 km/h. Keskinopeudet nousun aikana vaihtelivat HCT-ajoneuvoyhdistelmällä 32,3–40,0 km/h ja verrokkiyhdistelmällä 33,5–44,3 km/h välillä. Nousujen aikana havaittujen alimpien nopeuksien keskiarvo on HCT-ajoneuvoyhdistelmän suorittamissa nousuissa 23,4 km/h ja verrokkiyhdistelmän nousuissa 25,6 km/h. Alimpien nopeuksien keskiarvojen ero todettiin t-testillä erittäin merkitseväksi ( $p < 0,001$ ). Sekä nousujen kestojen, keskinopeuksien että alimpien nopeuksien arvojen mediaanit ovat hyvin lähellä taulukossa ilmoitettuja keskiarvoja. Lisäksi taulukosta 6.20 nähdään, että sekä nousun keston, keskinopeuden, alimman nopeuden että alkunopeuden keskihajonta on verrokkiyhdistelmän tapauksessa hieman suurempi kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmällä. Ajoneuvoyhdistelmien tuottamasta aineistosta oli nähtävissä, että keli vaikutti nousunopeuksiin merkittävästi. Tutkimuksen jatkuessa voidaan tutkia tarkemmin kelin vaikutusta nousunopeuteen analysoimalla nousuja myös kesäkeleiltä.

Taulukossa 6.21 ilmoitettujen arvojen laskennassa otettiin huomioon kahta lukuun ottamatta kaikki ajoneuvoyhdistelmien tutkittuna ajanjaksona suorittamat Magneettimäen nousut. Laskennassa ei otettu huomioon HCT-ajoneuvoyhdistelmän nousua, joka tehtiin

ilman varsinaista perävaunua liukkaan kelin vuoksi. Lisäksi huomioon ei otettu nousua, jossa HCT-yhdistelmä pysähtyi Magneettimäkeen liukkauden vuoksi. Kyseisessä tapauksessa tie oli kuljettajan mukaan muuttunut lyhyessä ajassa erittäin liukkaaksi alijäähtyneenä sataneen veden vuoksi. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmä oli kuormattu liian takapainoiseksi niin, että vetäville pyörille kohdistuva paino oli tavanomaista pienempi. Mäkeen pysähtymisen jälkeen HCT-yhdistelmä pääsi kuitenkin liikkeelle omin avuin voimansiirron lukon avulla. Liikkeelle päästyään HCT-yhdistelmä jätti varsinaisen perävaunun mäen puolivälissä sijaitsevalle levikkeelle ja nousi mäen loppuun vetäen vain puoliperävaunua. Varsinainen perävaunu vedettiin mäen päälle metsäpään autolla. Liukkauden vuoksi myös sillä oli vaikeuksia mäen nousemisessa.

Kuvassa 6.7 on esitetty HCT- ja verrokkiyhdistelmän nopeuden kehitystä Magneettimäen nousun aikana. Kuvaaja on piirretty sellaisten nousujen perusteella, joissa nousuaika, keskinopeus sekä alin nopeus olivat mahdollisimman lähellä taulukossa 6.20 ilmoitettuja ajoneuvoyhdistelmien keskimääräisiä arvoja. HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeustiedot on poimittu 17.2.2016 ja verrokkiyhdistelmän nopeustiedot 25.2.2016 suoritetusta noususta. Molempien nousujen aikana keli oli poutainen, talvinen ja tie osittain jäinen.



Kuva 6.9. Ajoneuvoyhdistelmien nopeus ajan suhteen Saariselän pohjoispuolella sijaitsevan Magneettimäen nousussa. Kuvaajan tiedot on poimittu päiviltä, jotka vastasivat mahdollisimman hyvin tutkimusajanjaksolta laskettuja keskiarvoja nousun keston, keskinopeuden sekä alimman nopeuden suhteen.

Kuvasta 6.9 nähdään, että ajoneuvoyhdistelmien nopeuskuvaajat ovat muodoiltaan hyvin lähellä toisiaan. HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeusvaihtelut ovat hieman suurempia ja nousun kesto on hieman pidempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Toisaalta verrokkiyhdistelmän nopeus nousun alussa on hieman suurempi kuin HCT-yhdistelmällä. Kuten taulukossa 6.20 esitettiin, nopeus nousun alussa oli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä keskimäärin 80,6 km/h ja verrokkiyhdistelmällä keskimäärin 81,2 km/h. Suurin ero ajoneuvoyhdistelmien nopeuksissa nähdään mäen ensimmäisen jyrkän osan lopussa (kuvassa noin sadan



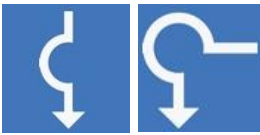












sekunnin kohdalla), jossa HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus laskee noin 25 kilometriin tunnissa, kun verrokin nopeus samassa kohdassa on hieman yli 30 kilometriä tunnissa.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että sekä HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeudet että alhaisimmat nopeudet Magneettimäessä olivat keskimäärin hieman pienempiä kuin verrokkiyhdistelmällä. Koska HCT-yhdistelmän nousut kestivät keskimäärin hieman kauemmin kuin verrokkiyhdistelmän nousut ja koska Magneettimäessä ohituspaikkoja on vain muutamia, aiheutti HCT-ajoneuvoyhdistelmä muille ajoneuvoille hieman verrokkiyhdistelmää suurempia viivytyksiä nousun aikana. Toisaalta HCT-ajoneuvoyhdistelmä myös päästi nousun aikana taakseen kertyneen jonon verrokkiyhdistelmää useammin ohitseen siirtymällä levikkeelle Magneettimäen päällä. Tehtyjen havaintojen perusteella erot HCT- ja verrokkiyhdistelmän mäennousukyvyssä voidaan todeta melko pieniksi. On huomioitava, että ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin vain Magneettimäessä, joka on haasteellisuudessaan hyvin poikkeuksellinen ja jossa nopeudet laskevat erittäin alhaisiksi. Reitin muissa mäissä erot ajoneuvoyhdistelmien nopeuksissa havaittiin karkeissa tarkasteluissa pienemmiksi kuin Magneettimäessä, mutta tarkempaa analyysiä niistä ei tehty. Havaintojen vähäisestä määrästä ja paikallisuudesta sekä käytetyn tutkimusmenetelmän varsin rajallisesta tarkkuudesta johtuen tulokset eivät anna täsmällistä kuvaa kyseisten ajoneuvoyhdistelmien mäennousukyvystä ja siihen vaikuttavista tekijöistä, mutta tehdyn tarkastelun pohjalta saadaan kuitenkin yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien välisten erojen suuruusluokasta. Tarkempien erojen selvittämiseksi on tehtävä ajoneuvodynamiikkaan keskittyviä tutkimuksia, joissa otetaan huomioon esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassa, tienpinnan ja renkaiden välinen kitka, keliolosuhteet sekä kuljettajan toiminta.

### 6.3.3 Kiertoliittymissä ja muissa liittymissä ajaminen

Videomateriaalin perusteella tutkittiin myös ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä liittymissä ja kiertoliittymissä. Ivalon kuormanvaihtopaikan ja Rovaniemen välisellä reitillä sijaitsevan Sodankylän kunnan taajamassa on kaksi kiertoliittymää, joiden läpi tutkimuksen ajoneuvot päivittäin ajavat. Mikäli puuta noudetaan Ivalon taajaman pohjoispuolelta, joudutaan lisäksi ajamaan taajamassa sijaitsevien kolmen kiertoliittymän läpi. Reitin liittymät ovat neljähaaraisia lukuun ottamatta Sodankylän pohjoista kiertoliittymää, joka on kolmehaarainen. Ajoneuvoyhdistelmien liikkeitä kiertoliittymissä analysoitiin 4.10.2015–27.11.2015 ja 17.2.2016–4.3.2016 välisiltä ajanjaksoilta kerätystä materiaalista. Ajokertoja kussakin kiertoliittymässä kertyi kummallakin ajoneuvoyhdistelmällä useita kymmeniä. Puolet analysoiduista ajokerroista ajettiin tyhjillä ja puolet kuormatuilla yhdistelmillä. HCT-ajoneuvon osalta suurin osa kiertoliittymäajoon liittyvästä materiaalista saatiin Sodankylän kahdesta kiertoliittymästä, mutta analysoitavaa materiaalia kertyi jonkin verran myös Ivalon kolmesta kiertoliittymästä. Verrokkiyhdistelmän osalta materiaalia kaikista viidestä kiertoliittymästä kertyi runsaasti. Kiertoliittymien muotoa ja kokoa sekä ajoneuvoyhdistelmien pääasiallisia ajosuuntia niissä on kuvattu taulukossa 6.22. On huomattava, että taulukossa esitetyt tiedot kiertoliittymien koosta on saatu Liikenneviraston Tiemapin mittatyökalun avulla, joten esitetyissä arvoissa on jonkin verran (arviolta +/- 2 m) epätarkkuutta.

Taulukko 6.22. Tietoa reitin kiertoliittymistä. Ilmakuvat on saatu Liikenneviraston Tiemapista ja liittymien ulkohalkaisijan koko on mitattu Tiemapin mittausyökalulla.

Kiertoliittymän nimi ja muoto	Ajoneuvoyhdistelmien ajosuunnat liittymissä	Kiertoliittymän ulkohalkaisija
Ivalon pohjoinen liittymä 	Tyhjänä:  Kuormattuna: 	Ulkohalkaisija noin 34 metriä, keskisaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija noin 15 metriä.
Ivalon keskimäinen liittymä 	Tyhjänä:  Kuormattuna: 	Ulkohalkaisija noin 34 metriä, keskisaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija noin 15 metriä.
Ivalon eteläinen liittymä 	Tyhjänä:  Kuormattuna: 	Ulkohalkaisija noin 32 metriä, keskisaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija noin 12 metriä.
Sodankylän pohjoinen liittymä 	Tyhjänä:  Kuormattuna: 	Ulkohalkaisija noin 40 metriä, keskisaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija noin 25 metriä.
Sodankylän eteläinen liittymä 	Tyhjänä:  Kuormattuna: 	Ulkohalkaisija noin 44 metriä, keskisaarekkeen nurmetetun alueen halkaisija noin 28 metriä.



Videomateriaalin avulla voitiin tarkkailla, miten tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ajourat kiertoliittymissä erosivat normaalipituisten ajoneuvoyhdistelmän ajourista. On kuitenkin huomattava, että kiinteästi ajoneuvoihin asennetun kolmesta kamerasta koostuneen laitteiston avulla voitiin ajoneuvoyhdistelmätyyppien eroja kiertoliittymäajossa verrata vain karkealla tasolla. Ajoneuvoyhdistelmien vasenta sivulinjaa kuvanneiden sivukameroiden avulla voitiin tarkastella, kuinka pitkälle kiertoliittymien kiertosaarekkeen puolelle ajoneuvoyhdistelmien varsinaisten perävaunujen takimmaisten akselien pyörät oikaisivat. Ajoneuvoyhdistelmien oikeanpuoleisten renkaiden liikerataa voitiin jossain määrin seurata, kun yhdistelmät ajoivat tyhjänä, mutta kuormattuna ajettaessa kiertoliittymän ulkokaarten puoleista ajouraa ei nähty. Aineistosta tehtiin kuitenkin muutama havainto, jossa verrokkiyhdistelmä ajoi kiertoliittymässä kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä, jolloin materiaalia HCT-ajoneuvoyhdistelmän liikkeistä kiertoliittymässä saatiin myös yhdistelmän takapuolelta kuvattuna.

Analysoidun materiaalin avulla voitiin nähdä joitakin eroja ajoneuvoyhdistelmien liikeradoissa kiertoliittymissä ajettaessa. Ajoneuvoyhdistelmien pituusero näkyi käytännössä siinä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän varsinaisen perävaunun vasemmanpuoleiset pyörät kulkivat lähempää kiertoliittymien keskisaarekettä kuin verrokkiyhdistelmän. Sodankylän kiertoliittymissä HCT-ajoneuvoyhdistelmän varsinaisen perävaunun takimmaisten akselien vasemmanpuoleiset pyörät nousivat osalla ajokerroista keskisaarekettä reunustavan korkeamman kivetyksen päälle ja osalla ajokerroista kulkivat hyvin läheltä sitä pysyen kuitenkin matalamman kiveyksen alueella. Verrokkiyhdistelmän perävaunun vasemmanpuoleiset takapyörät puolestaan kulkivat asfaltoidun alueen ja matalamman kiveyksen alueen rajalla. Tämä on nähtävissä myös kuvassa 6.10, jossa on esitetty tyhjänä ajavien ajoneuvoyhdistelmien takapyörien kulku-urien eroa Sodankylän pohjoisemmassa kiertoliittymässä. Hieman suuremman halkaisijan omaavassa Sodankylän eteläisessä kiertoliittymässä ajoneuvoyhdistelmien takapyörät kulkivat hieman kauempana keskisaarekkeesta. On huomattava, että kuvassa 6.10 verrokkiyhdistelmän perävaununa on tavallinen, kiinteämittainen perävaunu. Jatkettavaa perävaunua lyhyessä muodossa käytettäessä verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkivat hieman kauempana keskisaarekkeesta, jolloin ajoneuvoyhdistelmien kulku-urien välinen ero oli hieman kuvassa esitettyä suurempi.



Kuva 6.10. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyvän HCT-ajoneuvoyhdistelmän takapyörät nousivat Sodankylän pohjoisen kiertoliittymän keskisaarekettä reunustavan korkeamman kivetyksen päälle, kun taas verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkivat asfaltoidun alueen ja matalamman kiveyksen alueen rajalla.

Vastaavanlaisia eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä oli havaittavissa myös Ivalon taajaman kiertoliittymissä. Kuvassa 6.11 on nähtävissä kuormattuna ajavien ajoneuvoyhdistelmien ajolinjojen ero Ivalon pohjoisimmassa kiertoliittymässä Petsamontieltä etelään valtatielle 4 kääntyessä. Kuvasta voidaan nähdä, että verrokkiyhdistelmän perävaunun takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja matalan kiveyksen alueen rajalla, kun taas HCT-ajoneuvoyhdistelmän takimmaisiet pyörät kulkevat matalan kiveyksen ja korkeamman kiveyksen välisellä rajalla.



*Kuva 6.11. Ivalon taajaman pohjoisimmassa kiertoliittymässä HCT-ajoneuvoyhdistelmän takimmaisiet pyörät kulkevat matalan kiveyksen ja korkeamman kiveyksen rajalla, kun taas verrokkiyhdistelmän takapyörät kulkevat asfaltoidun alueen ja matalan kiveyksen alueen rajalla. HCT-ajoneuvoyhdistelmä on kuvassa vasemmalla ja verrokkiyhdistelmä oikealla.*

Kaiken kaikkiaan analysoidusta aineistosta oli nähtävissä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän oli hyödynnettävä tarkasti kaikki käytettävissä oleva tila mahtuakseen ajamaan kiertoliittymistä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ei kuitenkaan havaittu oikaisseen kiertoliittymien keskisaarekkeiden nurmetetulle alueelle tai osuneen liittymäalueella sijainneisiin liikennemerkkeihin eikä myöskään muunlaisia vahinkoja tai ongelmia kiertoliittymäajossa havaittu. Ajoneuvoyhdistelmien välisten erojen lisäksi videomateriaalista nähtiin, että lumisena aikana kiertoliittymäajo vaatii entistä enemmän tarkkuutta lumen vaatiman tilan, liukkauden sekä piiloon jääneiden merkintöjen ja reunakivien vuoksi. Kuvasta 6.12 on nähtävissä, kuinka varsinainen perävaunu kallisteli sen takapyörien noustessa kiertoliittymien reunakivien ja keskisaarekkeen ympärille kertyneen lumen päälle. Molempien ajoneuvoyhdistelmien tuottamassa materiaalisissa havaittiin myös tilanteita, joissa varsinaisen perävaunun takapää liukui äkkinäisesti sivuttaissuunnassa keskisaarekkeen lumiselta ja kaltevalta reunalta kiertoliittymien ulkokaarteeseen päin. Tällaisia havaintoja tehtiin vain tyhjänä ajavista ajoneuvoyhdistelmistä. Analysoidussa materiaalisissa ei nähty vaaratilanteita perävaunun liukumiseen liittyen, mutta on mahdollista, että sivuttaissuunnassa liukuva perävaunu yllättäisi sivuhaarasta kiertotilaan pyrkivän ajoneuvon kuljettajan. Ajoneuvojen törmäämisen mahdollisuuttakaan ei voida poissulkea, mutta sen todennäköisyys lienee verrattain pieni: kiertotilaan pyrkivän auton tulisi odottaa osittain kiertotilassa ja ajoneuvoyhdistelmän perävaunun sivuttaissuuntaisen liukuman tulisi olla poikkeuksellisen suuri, jotta törmääminen tapahtuisi.



*Kuva 6.12. Lumisena aikana tila kiertoliittymissä väheni entisestään, mikä näkyi erityisesti varsinaisen perävaunun kallisteleminen sekä sen takapäin sivuttaissuuntaisena liukumisena keskisaarekkeesta liittymän ulkoreunaan päin. Kuvat ovat HCT-ajoneuvoyhdistelmästä, mutta ilmiöt havaittiin myös verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa.*

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä seurattiin kiertoliittymien lisäksi myös muissa liittymissä. Myös niissä liikkumisissa oli havaittavissa ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja. Risteyksissä oikealle kääntyessä HCT-yhdistelmä koukkasi selvemmin vastaantulevan liikenteen kaistan kautta kuin verrokkiyhdistelmä. Luonnollisesti myös vasemmalle kääntyessä HCT-ajoneuvoyhdistelmän pyyhkäisyala oli laajempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Kuvassa 6.13 HCT-yhdistelmä on kääntymässä vasemmalle lähellä Rovaniemen puutavaraterminaalia. HCT-yhdistelmän takana ajaneen verrokkiyhdistelmän etukameran kuvasta nähdään, että vasemmalle kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä varaa sekä suoraan ajaville että vasemmalle kääntyville tarkoitetun kaistan. Kuvasta 6.14 puolestaan nähdään, että noin 25 metriä pitkä verrokkiyhdistelmä mahtuu suorittamaan vastaavan käännöksen vasemmalle kääntyville tarkoitetulta kaistalta. Yhdistelmien ajolinjojen erosta johtuen kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä aiheuttaa takana ajaville ajoneuvoille hieman suuremman viivytyksen kuin verrokkiyhdistelmä. Mikäli liikennemäärät risteyksessä olisivat suuria, tällä olisi merkittävämpiä vaikutuksia liittymäalueen liikenteen sujuvuuteen. Nykyisessä tilanteessa vaikutus nähtiin kuitenkin vähäiseksi. Kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa materiaalissa ei havaittu liittymäajoon liittyviä vaaratilanteita eikä tilanteita, joissa ajoneuvoyhdistelmät olisivat osuneet esimerkiksi liikenteenjakajan kiveykseen tai liikennemerkkeihin.





Kuva 6.13. Pitkän yhdistelmän tilantarve näkyy kuvan risteyksessä niin, että vasemmalle kääntyvä HCT-ajoneuvoyhdistelmä varaa kääntyessään sekä vasemmalle kääntyville että suoraan ajaville ajoneuvoille tarkoitetun kaistan.



Kuva 6.14. Verrokkiyhdistelmän sivukameran kuva osoittaa, että 25-metrinen yhdistelmä mahtuu suorittamaan saman käännöksen kääntyvälle liikenteelle tarkoitetulta kaistalta.

### 6.3.4 Muita havaintoja

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä pyrittiin tekemään havaintoja myös liittymien välisillä linjaosuuksilla. Ajoneuvoyhdistelmien sivuttaissuuntaista heilumista voitiin tarkkailla lähinnä sivukameroiden tuottaman materiaalin avulla. Heilumisesta pyrittiin tekemään havaintoja suorilla ja mutkaisilla tieosuuksilla ajettaessa sekä esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten aikana. Havaitut ajoneuvoyhdistelmien suorittamat ohitukset tapahtuivat useimmiten tyhjänä ajettaessa ja ohitettavana oli yleensä muuta liikennettä selvästi hitaampi ajoneuvo, kuten traktori tai muu työkone. HCT-ajoneuvoyhdistelmän osalta videomateriaalia tallennettiin myös koeajopäivältä, jolloin kuljettajat harjoittelivat HCT-yhdistelemällä ajamista Ivalon lentokentällä. Kentällä suoritettiin muun muassa kaksoiskaistanvaihtokokeita, jotka käytännössä simuloivat aktiivista ohitusta. Kaksoiskaistanvaihtokokeet lentokentällä suoritettiin kuormatulla yhdistelmällä. Kaikkiaan voidaan todeta, että analysoidussa materiaalissa ajoneuvoyhdistelmät käyttäytyivät varsin vakaasti, eikä merkittävää eroa sivuttaissuuntaisessa heilunnassa ajoneuvoyhdistelmien välillä nähty. Esimerkiksi aktiivisten ohitusten jälkeen varsinaisten

perävaunujen heiluminen oli verrattain vähäistä kummankin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. On kuitenkin todettava, ettei visuaaliseen tarkasteluun perustuva menetelmä ole tarpeeksi tarkka tapa tutkia erilaisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettia, eikä sen tutkiminen toisaalta ollut tämän työn päätavoitteena.

Muita mielenkiintoisia tilanteita, joissa ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä voitiin tarkkailla, olivat äkkinäiset jarrutukset, joita kumpikin ajoneuvoyhdistelmä joutui tekemään tiealueella arvaamattomasti liikkuneiden porojen takia. Yhtään porokolaria ei analysoidussa aineistossa kuitenkaan havaittu, vaan ajoneuvoyhdistelmät pystyivät välttämään ne jarrutuksin ja väistöin. Kaikissa havaituissa jarrutuksissa yhdistelmät käyttäytyivät vaakaasti, eikä esimerkiksi perävaunujen havaittu pyrkivän huomattavaan sivuttaisliikkeen. Yleisesti ottaen ajoneuvoyhdistelmien dynaamista käyttäytymistä tutkittiin työssä hyvin karkealla tasolla. Tarkempien johtopäätösten tekemiseksi vaadittaisiin esimerkiksi kiihdytysanturein kerättyä tietoa ajoneuvoyhdistelmien hidastuvuuksista ja sivuttaisliikkeestä. HCT-ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettiin liittyvää tutkimusta tehdään tällä hetkellä Oulun yliopistossa.

## 7 Tulosten analysointi ja luotettavuuden arviointi

### 7.1 Ohitukset

Analysoidussa materiaalissa kaksikaistaisilla tieosuuksilla tapahtuneita HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia havaittiin 233 kappaletta ja verrokkiyhdistelmän ohituksia 165 kappaletta. Ohitukset jakautuivat kolmeen ohitustyyppiin niin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista noin 67 % oli kiihdytysohituksia, noin 24 % lentäviä ohituksia ja noin 9 % jono-ohituksia. Verrokin ohituksista noin 61 % oli kiihdytysohituksia, noin 32 % lentäviä ohituksia ja noin 7 % jono-ohituksia. Ohitusten jakautumisessa ohitustyyppeihin voitiin siis havaita pieniä eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä. Se, että verrokkiyhdistelmän ohituksista lentävien ohitusten osuus oli suurempi kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista voi kertoa siitä, että ”pitkä kuljetus” -kyltillä merkityn, tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohitusta harkittiin enemmän eikä ohitukseen haluttu lähteä yhtä usein heti ajoneuvoyhdistelmän saavuttamisen jälkeen. Lisäksi verrokkiyhdistelmän ohituksissa kriittinen aikaväli oli hieman pienempi, jolloin todennäköisyys riittävän alkuajavälillä löytymiselle heti ajoneuvoyhdistelmän saavuttamisen jälkeen oli suurempi kuin HCT-yhdistelmän ohituksissa. Toisaalta se, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista suurempi osuus oli jono-ohituksia, johtuu todennäköisesti siitä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä havaittiin verrokkia enemmän ajoneuvoja, jotka eivät lähteneet ohittamaan edellä ajavaa yhdistelmää. Koska jonoutuminen HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä oli siis hieman suurempaa, oli myös jono-ohitusten todennäköisyys suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Vastaavasti se, että verrokkiyhdistelmän perässä jonoutuminen oli hieman vähäisempää, kasvatti lentävien ohitusten esiintymistodennäköisyyttä jono-ohitusten esiintymistodennäköisyyteen verrattuna. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuloksista oli havaittavissa lisäksi, että kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksista lentäviä ohituksia oli vähemmän kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksista. Vastaavasti jono-ohitusten suhteellinen osuus oli kuormattujen yhdistelmien ohituksissa suurempi kuin tyhjien yhdistelmien ohituksissa. Ensimmäinen havainto saattaa kertoa siitä, että kuormatut puutavara-ajoneuvoyhdistelmät aiheuttavat huomattavasti tyhjiä suuremman näkemäesteen, jolloin lentävän ohituksen suorittaminen saattaa vaikeutua, koska vapaan tiealueen näkeminen ja sen pituuden arviointi vaikeutuu. Lisäksi kyse saattaa olla myös psykologisesta tekijästä; kuormattu ajoneuvoyhdistelmä vaikuttaa huomattavasti tyhjää ajoneuvoyhdistelmää suuremmalta, jolloin ohitustilannetta ehkä arvioidaan tarkemmin. Toinen havainto on puolestaan looginen sikäli, että kuormattuna ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet olivat alhaisempia kuin tyhjinä, jolloin jonoutuminen niiden takana oli hieman suurempaa ja siten myös jono-ohitusten todennäköisyys kasvoi.

Ohitusten kestoon liittyen puolestaan havaittiin, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten mediaanikesto oli 5,9 sekuntia, kun taas tyhjän verrokkiyhdistelmän tapauksessa ohitusten mediaanikesto oli noin 4,8 sekuntia. Myös ero tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvoissa havaittiin tilastollisesti erittäin merkitseväksi. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestoissa ero oli oletettua pienempi: kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten mediaanikesto oli 5,0 sekuntia, kun vastaava arvo kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa oli 4,9 sekuntia. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestojen keskiarvot erosivat toisistaan kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi. Erot ohitusten kestoissa olivat lähes samansuuruisia, kun huomioon otettiin vain ne ohitukset, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto. Mikäli oletetaan tilanne, jossa nopeusrajoituksen mukaista 100 km/h nopeutta ajava 4,5 metriä pitkä henkilöauto ohittaa 80 km/h nopeudella ajavan 25,25 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän, saadaan ohituksen teoreettiseksi kestoksi luvussa 5.4 esitetyllä laskentatavalla noin 7,2 sekuntia.

Mikäli ohitettavana olisi 33 metriä pitkä ajoneuvoyhdistelmä, kestäisi ohitus noin 8,6 sekuntia. Ero ohitusten kestossa olisi siis tässä teoreettisessa tilanteessa noin 1,4 sekuntia. Nyt mitattujen ohitusten kestojen voidaankin havaita olevan edellä kuvattua teoreettista tilannetta merkittävästi lyhyempiä ja ajoneuvoyhdistelmien ohitusten kestojen välisen eron olevan teoreettisesti laskettua eroa pienempi. Erot selittyvät usealla eri tekijällä. Ensinnäkin ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien nopeudet ohitusten aikana olivat pääsääntöisesti alle 80 km/h. Lisäksi suurin osa ohittaneista ajoneuvoista ajoi ohituksen aikana yli 100 km/h keskinopeudella. Tällöin ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero oli teoreettisessa tilanteessa esitettyä suurempi, jolloin myös ohitusten kesto lyheni. Toisaalta tyhjien ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa eroa ohitusten kestossa lisäsi se, että verrokkiyhdistelmän jatkettava perävaunu oli lyhyessä muodossa jolloin ajoneuvoyhdistelmän kokonaispituus oli noin 22 metriä. Tällöin ajoneuvoyhdistelmien pituusero oli teoreettista tilannetta suurempi.

Tutkimuslaitteiston ajanoton tarkkuus on verrattain rajallinen, sillä laitteisto ilmoittaa ajan yhden sekunnin tarkkuudella. Ohitusten kesto pystyttiin kuitenkin määrittämään huomattavasti tarkemmin, kun tiedettiin, että videokameroiden kuvanottotaajuus oli 30 kuvaa sekunnissa. Tällöin kahden peräkkäisen kuvan välisen ajan pituus oli  $1/30$  eli noin 0,033 sekuntia. Ohitusten kestoa määritettäessä selvitettiin, kuinka monennen yksittäisen kuvan kohdalla ohitus katsottiin alkaneeksi ja päättyneeksi, jolloin ohitusten kesto pystyttiin määrittämään huomattavasti laitteiston alkuperäistä ajanoton tarkkuutta suuremmalla tarkkuudella. Niinpä 0,1 sekunnin tarkkuudella ilmoitettuja tuloksia voidaan pitää hyvin luotettavina.

Ohitettavan ja ohittajan ohitusten aikana ajamien matkojen pituudet riippuvat ohituksen kestosta ja ajoneuvojen käyttämisestä nopeuksista. Erot ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikana ajamissa matkoissa olivat siis samansuuntaisia kuin erot ohitusten kestoissa: HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohitusten aikana ajaman matkan mediaaniarvo oli tyhjänä noin 132 metriä ja kuormattuna noin 110 metriä. Vastaavat luvut verrokkiyhdistelmälle olivat tyhjänä noin 108 metriä ja kuormattuna noin 102 metriä. Ohittajien ohitusten aikana kulkema matka oli puolestaan tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa noin 180 metriä ja kuormatun HCT-yhdistelmän ohituksissa noin 158 metriä. Verrokkiyhdistelmän ohituksissa ohittajien kulkemat matkat olivat vastaavasti noin 147 metriä ja noin 140 metriä.

Ohitusmatkan laskemisessa lähtötietoina käytettiin ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia, ohitusten kestoa sekä ajoneuvojen pituuksia kuten aliluvussa 5.4 esitettiin. Ohitusmatkan pituutta laskettaessa selvitettiin, kuinka monta sekuntia ajoneuvoyhdistelmä ajoi kullakin nopeudella, ja näin voitiin laskea ajoneuvoyhdistelmän ohituksen aikana kulkema matka. Ohitusmatkaan liittyviin tuloksiin epätarkkuutta aiheuttaa tutkimuslaitteiston ilmoittaman nopeuden rajallinen tarkkuus. Laitteisto mittaa ajoneuvoyhdistelmän nopeutta GPS-paikantimen avulla ja ilmoittaa sen yhden tuntikilometrin tarkkuudella. Nopeus päivittyy kahden–kolmen sekunnin välein, joten laitteiston ilmoittama nopeus ei aina kuvaa kyseisen hetken nopeutta täysin reaaliaikaisesti. GPS-paikantimen ilmoittamaan nopeuteen saattaa lisäksi aiheutua virhettä riippuen esimerkiksi katvealueista eli siitä, moneenko satelliittiin GPS-paikantimella on kulloinkin yhteys. Suurimmillaan mahdollisten virheiden arvioitiin olevan joidenkin prosenttien luokkaa. Yksittäisiä virheitä kuitenkin tasaa se, että laitteisto ei ilmoita jokaista laskemaansa hetkellistä nopeutta, vaan käyttäjälle ilmoitettava nopeus lasketaan peräkkäisten nopeusarvojen liukuvana keskiarvona ja käyttäjälle ilmoitettava nopeus päivittyy kahden–kolmen sekunnin välein. Lukuja tulkittaessa onkin oletettu, että virhemarginaali sisältyy laitteiston yhden tuntikilometrin ilmoitustarkkuu-



teen. Lisäksi on huomioitava, ettei tutkimuslaitteiston ilmoittama nopeus ole systemaattisesti suurempi tai pienempi kuin ajoneuvon todellinen nopeus, joten virheet eivät merkittävästi vaikuta esimerkiksi laskettuihin ohitusmatkojen keskiarvoihin. Lisäksi on huomattava, että ajoneuvoyhdistelmät ajoivat ohitusten aikana verrattain tasaisella nopeudella, joten nopeuteen liittyvän epätarkkuuden ei todettu merkittävästi heikentävän ohitusmatkan pituuteen tai ohitusnopeuksiin liittyvien tulosten luotettavuutta.

Ohitukseen liittyen tutkittiin myös ohitettavien ajoneuvoyhdistelmien sekä ohittavien ajoneuvojen nopeuksia ohitusten aikana. Tutkimuksessa havaittiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli sekä tyhjänä että kuormattuna keskimäärin alhaisempi kuin verrokkiyhdistelmän nopeus. Erot havaittiin tilastollisesti erittäin merkitseviksi. Ajoneuvoyhdistelmien ohitusten aikaisten nopeuksien mediaani oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa tyhjänä noin 79 km/h ja kuormattuna noin 75 km/h vastaavien lukujen ollessa verrokin tapauksessa noin 83 km/h tyhjänä ja noin 79 km/h kuormattuna. HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkiyhdistelmää alhaisempi nopeus kavensi eroa ohitusten kestossa ja helpotti ohittamista. Toisaalta alhaisempi nopeus myös lisää ajoneuvon saavutettavuutta, jolloin teoreettinen ohitustarve kasvaa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia havaittiinkin enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksia.

Ohitusten keston ja ohitusmatkan avulla voitiin laskea myös ohittavien ajoneuvojen ohitusten aikaisia keskinopeuksia. Niihin liittyen havaittiin, että ohittavien ajoneuvojen keskinopeuksien mediaanit erosivat toisistaan verrattain vähän: tyhjä HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitettiin noin 109 km/h keskinopeudella, kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä noin 110 km/h keskinopeudella, tyhjä verrokkiyhdistelmä noin 111 km/h keskinopeudella ja kuormattu verrokkiyhdistelmä noin 109 km/h keskinopeudella. Erot HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien ja verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeuksissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ohittajien nopeuksiin ei myöskään vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi se, oliko ohitettava ajoneuvoyhdistelmä tyhjä vai kuormattu. Ohituksissa, joissa ohittavana ajoneuvona oli henkilöauto, olivat ohittavien ajoneuvojen keskinopeudet hieman edellä mainittuja suurempia. Luvuista on huomattava erityisesti se, että vaikka HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli sekä tyhjänä että kuormattuna noin 4 km/h verrokkiyhdistelmän nopeutta alhaisempi, ohittavien ajoneuvojen nopeuksissa ero oli pienempi, ja kuormattu HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohitettiin keskimäärin suuremmalla nopeudella kuin kuormattu verrokkiyhdistelmä. Korrelaatiotarkasteluissa havaittiinkin, että ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeudella oli voimakkaampi yhteys ohittavan ajoneuvon nopeuteen, kun ohitettavana oli verrokkiyhdistelmä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa korrelaatio ei ollut yhtä voimakas, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitsevä.

Ohituksen kestoon vaikuttaa merkittävästi se, kuinka suuri on ohitettavan ja ohittavan ajoneuvon nopeuksien ero. Nopeuseron mediaani oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa noin 29 km/h ja tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa noin 28 km/h. Nopeuseron keskiarvo oli kummankin tyhjän ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa noin 31 km/h, eikä nopeuserossa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa tyhjien ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa nopeuseron mediaani oli 35 km/h, kun taas kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa nopeuseron mediaani oli 29 km/h. Nopeuseron keskiarvojen ero oli hieman mediaanien eroa pienempi, mutta ero havaittiin tilastollisesti merkitseväksi.

Ohitusnopeuksiin liittyen tutkittiin edellä mainittujen tekijöiden lisäksi sitä, kuinka suuri oli ohittajan ohituksen aikaisen nopeuden ja tieosalla vallitsevan nopeusrajoituksen välinen erotus. Tuloksista havaittiin, että ylinopeudet ohitusten aikana olivat hyvin yleisiä.

Tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa verrokkiyhdistelmä ohitettiin hieman suuremmalla ylinopeudella kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmä, kun taas kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ohituksissa HCT-ajoneuvoyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen ylinopeudet olivat hieman suurempia. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Sellaisia ohituksia, joissa ohittajan keskinopeus oli korkeintaan nopeusrajoituksen suuruinen, oli kummankin yhdistelmän ohituksista noin viidesosa. Ajoneuvoyhdistelmien ohittajien nopeudet olivat oletettua suuruusluokkaa: myös muissa tutkimuksissa on havaittu, että ylinopeudet ohitusten aikana ovat yleisiä. Esimerkiksi Andersson et aliiin (2011) tutkimuksessa ETT-ajoneuvoyhdistelmää ohittaneiden ajoneuvojen ohitusnopeuksien keskiarvo oli 117 km/h ja verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusnopeuksien keskiarvo 115 km/h, kun nopeusrajoitus kaksikaistaisella tieosuudella oli 90 km/h. Ohitusten aikaiset keskinopeudet laskettiin ohitusten keston ja ohitusmatkan pituuden avulla, joten edellä mainitut ohitusten kestoon ja ohitusmatkan pituuteen liittyvät epätarkkuustekijät aiheuttavat siten epätarkkuutta myös ohitusten aikaisiin keskinopeuksiin liittyviin tuloksiin. Koska systemaattisia virhelähteitä ei kuitenkaan havaittu, voidaan olettaa, että menetelmästä ja laitteiston rajallisesta tarkkuudesta johtuvat virheet eivät merkittävästi vaikuta esimerkiksi ilmoitettuihin keskiarvoihin.

Ohituksiin liittyen tutkittiin myös hyväksytyjen ja pisimpien hylättyjen ohitusaikavälien suuruuksia. Näiden avulla voitiin laskea kriittisen aikavälin suuruus eli se, kuinka suuri aikavälin vastaantulevassa liikennevirrassa tulee vähintään olla, jotta positiivinen ohituspäätös tehdään. Tulosten mukaan hyväksytyjen aikavälien suuruus oli mediaaniarvoltaan noin 34 sekuntia tyhjien yhdistelmien ohituksissa ja noin 31 sekuntia kuormattujen yhdistelmien ohituksissa. Hyväksytyjen aikavälien suuruudessa ei siis havaittu merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä, eikä ero hyväksytyjen aikavälien keskiarvoissa ollut myöskään tilastollisesti merkitsevä. Pisimmät hylätyt aikavälit havaittiin sen sijaan HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa pidemmiksi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa: pisimmän hylätyn aikavälin mediaaniarvo oli tyhjällä HCT-ajoneuvoyhdistelmällä noin 21 sekuntia ja tyhjällä verrokkiyhdistelmällä noin 16 sekuntia. Kuormattuna pisimpien hylättyjen aikavälien mediaaniarvo oli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä noin 16 sekuntia ja verrokkiyhdistelmällä noin 13 sekuntia. Hylättyjen aikavälien keskiarvojen erot olivat kuitenkin mediaanien eroja pienempiä, eikä keskiarvojen havaittu eroavan toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Mediaaniarvojen perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat olivat valmiita hylkäämään pidempiä aikavälejä kuin verrokkiyhdistelmän ohittajat. Tällöin myös kriittisen aikavälin suuruus oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa suurempi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa: kriittisen aikavälin keskiarvo oli noin 27 sekuntia tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa ja noin 26 sekuntia tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Kuormattujen yhdistelmien ohituksissa kriittisen aikavälin arvot olivat vastaavasti noin 25 ja noin 23 sekuntia. Erot kriittisessä aikaväleissä eivät olleet kovin suuria ja ne olivat samaa suuruusluokkaa kuin teoreettisesti lasketut erot ohitusten kestoissa. Lukujen perusteella vaikuttaa siis siltä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat varautuivat normaalia pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen rationaalisella tavalla; kriittiset aikavälit olivat hieman suurempia kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa, mutta erityisestä ylivarovaisuudesta ne eivät kuitenkaan viesti. HCT-ajoneuvoyhdistelmän tuottamassa materiaalissa epäjohtonmukaisesti käyttäytyviä ohittajia havaittiin enemmän kuin verrokkiyhdistelmän tuottamassa materiaalissa. Epäjohtonmukaisella käyttäytymisellä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että ohittajien hyväksymä aikaväli oli lyhyempi kuin pisin hylätty aikaväli. Tämä saattaa kertoa siitä, että osalle kuljettajista tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen vaaditun matkan ja ajan arviointi voi olla vaikeaa.

Vaaditaan kuitenkin lisää tutkimusta, jotta asiasta voidaan vetää luotettavampia johtopäätöksiä.

Hyväksytyjen, hylättyjen ja kriittisten aikavälien suuruuteen liittyviin tuloksiin aiheuttivat virhettä useat eri tekijät. Suurin osa kaksikaistaisilla tieosuuksilla havaituista ohituksista oli sellaisia, joissa vastaantuleva ajoneuvo ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa, vaan näkemää rajoitti maastoeste. Tällaisissa tapauksissa hyväksytyn tai hylätyn aikavälin suuruus määritettiin Liikenneviraston tierekisterin näkemäpituustietojen ja tieosan nopeusrajoituksen avulla. Tierekisterissä ilmoitettujen näkemän ääriarvojen välillä näkemän oletettiin muuttuvan lineaarisesti. Koska ääriarvojen välisiä näkemiä arvioitiin lineaarisuusoletuksen perusteella, eivät laskennassa käytetyt näkemät välttämättä vastanneet täysin todellista tilannetta. Toisaalta samaa oletusta on yleisesti käytetty myös muissa ohitusnäkemiä käsitelleissä suomalaisissa tutkimuksissa. Toinen näkemäpituuteen liittyvä virhelähde on se, että tierekisterin tietokannassa ilmoitetut näkemät on mitattu käyttäen sekä silmäpiste- että estekorkeutena 1,1 metriä. Jos näkemäpituudeksi on ilmoitettu esimerkiksi 800 metriä, tarkoittaa se sitä, että kuljettaja voi nähdä 1,1 metriä korkean esteen, joka on 800 metrin päässä. Tienpinta ei kuitenkaan välttämättä ole näkyvissä koko matkalla, jolloin kuljettaja ei voi tietää, kuinka suuri osa tiestä häneltä jää näkemättä ja onko näkemättä jäävällä tieosalla vastaantulijoita. Mikäli tierekisterissä ilmoitetut näkemäpituuden arvot olisi mitattu käyttämällä estepisteen korkeutena esimerkiksi 0,6 tai 0 metriä, olisivat näkemäpituuden arvot lyhyempiä sekä vertailukelpoisempia niiden ohitusnäkemien kanssa, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä. Lisäksi virhettä aiheuttaa se, että tierekisterin näkemäpituustiedot on ilmoitettu vain inventointisuunnassa, jolloin vastakkaisen suunnan näkemiä joudutaan arvioimaan matemaattisesti luvussa 5.4 esitetyllä tavalla. Koska silmäpiste- ja estekorkeus ovat yhtä suuria, voidaan kuitenkin olettaa, että arviointimenetelmästä johtuva virhe inventointisuuntaa vastakkaisen suunnan näkemäpituuksissa on melko pieni.

Niissä tapauksissa, joissa ohituspäätöstä tehtäessä oli näkyvissä vastaantulevaa liikennettä, jouduttiin arvioimaan ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon nopeutta. Nopeuden arvioitiin olevan tieosan nopeusrajoituksen suuruinen tai vastaantulevan ajoneuvon ajoneuvotyyppille sallittu suurin nopeus, mikäli se oli tieosan nopeusrajoitusta alhaisempi. Koska vastaantulevien ajoneuvojen todelliset nopeudet todennäköisesti poikkesivat jossain määrin nopeusrajoituksesta, myös tästä aiheutui virhettä ohitusaikaväleihin liittyviin tuloksiin. LAM-pisteiden tietojen mukaan ajoneuvojen keskinopeudet mittauspisteiden kohdalla ovat esimerkiksi nopeusrajoitusalueella 100 km/h yleensä hieman alle nopeusrajoituksen. Tästä aiheutuva virhe arvioitiin kuitenkin verrattain pieneksi.

Videomateriaalista määritettiin myös turva-aikoja erilaisten ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuuden vertailemiseksi. Tutkitussa materiaalissa turva-ajat olivat verrattain pitkiä: turva-aikojen mediaani oli tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 43,5 sekuntia, tyhjän verrokkiyhdistelmän ohituksissa 40 sekuntia, kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa 38 sekuntia ja kuormatun verrokkiyhdistelmän ohituksissa 27,5 sekuntia. Mediaaniarvojen perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa turva-ajat olivat siis hieman pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Keskiarvoissa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Lyhyitä turva-aikoja havaittiin hyvin vähän, sillä esimerkiksi kolme sekuntia pitkiä tai sitä lyhyempiä turva-aikoja havaittiin koko aineistossa vain yksi kappale. Myös enintään kymmenen sekuntia pitkien turva-aikojen osuus oli verrattain pieni, sillä koko aineistosta niitä oli noin kymmenen prosenttia. Lyhyiden turva-aikojen vähäinen määrä johtui todennä-

köisesti pääasiassa siitä, että liikennemäärät olivat verrattain pieniä. Tutkimuksen kannalta erityisen mielenkiintoisia ohituksia olivat ne, joissa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Alhaisista liikennemääristä johtuen tällaisia ohituksia havaittiin hyvin vähän; HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista yhdeksässä ja verrokkiyhdistelmän ohituksista kymmenessä vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa. Näissä ohituksissa turva-ajat olivat keskimäärin selvästi lyhyempiä kuin muissa ohituksissa, sillä turva-ajat olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 17 sekuntia tyhjänä ja 9 sekuntia kuormattuna ja verrokin tapauksessa 6 sekuntia tyhjänä ja 11 sekuntia kuormattuna. Sellaisten ohitusten määrä, jossa vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä ohituksen alkaessa, oli kuitenkin niin pieni, ettei näiden ohitusten turva-aikojen tilastollinen vertailu ole mielekästä. Kaiken kaikkiaan turva-ajoista saatu aineisto ei anna viitteitä siitä, että ohitusturvallisuus olisi HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa huonompi kuin verrokkiyhdistelmän ohituksissa. Aineisto on kuitenkin verrattain rajallinen, joten asiaa on syytä tutkia lisää erityisesti vilkkaamman liikenteen teillä sekä erilaisissa keliolosuhteissa. Tähän mennessä saadusta aineistosta tehdyt korrelaatiotarkastelut osoittivat, että liikennemäärän kasvaessa turva-ajat lyhenevät.

Turva-ajan pituuden määrittäminen perustuu kahteen ajanhetkeen; ohituksen päättymiseen ja ohittajan ja ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon kohtaamiseen. Turva-aikaan liittyvissä tuloksissa on kaksi virhelähdettä: mittauslaitteiston kellon rajallinen tarkkuus sekä ohittajan ja ensimmäisen vastaantulevan ajoneuvon kohtaamishetken silmäämääräiseen määrittämiseen liittyvä epätarkkuus. Edellisen virhelähteen merkitys korostuu hyvin lyhyissä turva-ajoissa, kun taas jälkimmäisen virhelähteen merkitys on suurempi pitkien turva-aikojen tapauksissa, joissa ajoneuvojen kohtaaminen tapahtuu kaukana ohitetusta ajoneuvoyhdistelmästä ja sen etukamerasta. Tutkimuksen kannalta lyhyet turva-ajat ovat mielenkiintoisimpia, mutta niitä havaittiin verrattain vähän. Pitkien turva-aikojen tapauksessa absoluuttiset virheet ovat suurempia, mutta tutkimuksen kannalta eivät yhtä merkityksellisiä. Niinpä turva-aikoihin liittyviä tuloksia voidaan pitää riittävän tarkkoina kuvaamaan tutkittua ilmiötä.

## **7.2 Jonoutuminen**

Ohitusten lisäksi tutkimuksessa pyrittiin selvittämään sitä, havaitaanko videomateriaalissa ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja jonoutumiseen liittyen. Jonoutumisen osalta tutkittiin erityisesti kahta tekijää: sitä, kuinka pitkiä jonot ajoneuvoyhdistelmien takana keskimäärin olivat sekä sitä, kuinka kauan ja kuinka pitkän matkan ajoneuvoyhdistelmien takana ensimmäisenä ajavat ajoneuvot ajoivat ennen kuin lähtivät ohittamaan tai jonottaminen jostain muusta syystä päättyi. Keskimääräiset jononpituudet ajoneuvoyhdistelmien takana havaittiin hyvin lyhyiksi: 76 % HCT-ajoneuvoyhdistelmään liittyvistä havainnoista oli sellaisia, jossa takana ei ollut yhtään jonottavaa ajoneuvoa. Verrokkiyhdistelmällä vastaava luku oli noin 83 %. Myös pisimmät havaitut jonot olivat HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana pidempiä kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana pisin jono oli kuuden ajoneuvon mittainen kun taas verrokkiyhdistelmän takana pisin jono oli viiden ajoneuvon mittainen. Ajoneuvoyhdistelmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero keskimääräisessä jononpituudessa. Havaintoja pitkeistä jonoista tehtiin kuitenkin vain muutamia, joten voidaan todeta, ettei jonoutuminen kummankaan ajoneuvoyhdistelmän takana ollut ongelma. Kuten aliluvussa 6.3.2 todettiin, HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus tutkittuna ajanjaksona oli verrokin keskinopeutta alhaisempi. Alhaisempi nopeus onkin yksi selittävä tekijä suuremman jonoutumisen taustalla: ajoneuvo saavutetaan sitä useammin, mitä hitaampi se on muihin ajoneuvoihin verrattuna. Ohitukseen liittyvien tuloksien yhteydessä todettiin myös, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksia havaittiin enemmän kuin verrokkiyhdistelmän ohituksia.

HCT-ajoneuvo siis saavutettiin verrokkiyhdistelmää useammin, mutta koska myös ohituksia tapahtui useammin, oli keskimääräinen jononpituus HCT-ajoneuvon perässä vain hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa.

Jononpituuteen liittyviin tuloksiin liittyy jonkin verran epätarkkuutta. Ensinnäkin jononpituus ajoneuvoyhdistelmien takana tilastoitiin viiden minuutin välein. Havaintoaikojen välillä jononpituus saattoikin olla hetkellisesti esimerkiksi suurempi kuin edellä mainitut pisimpien jonojen arvot. Havaintotiheyden kasvattamisella jononpituustietojen tarkkuutta voitaisiin parantaa, mutta toisaalta jononpituuden jatkuva seuranta ei olisi työmäärään nähden mielekästä. Viiden minuutin havaintotiheydellä jonoutumisesta todettiin saatavan riittävän hyvä yleiskuva.

Toinen epätarkkuustekijä jononpituuden määrittämisessä on se, että ajoneuvoyhdistelmien takana ajavien ajoneuvojen välisten aikavälien määrittäminen perustuu silmämääräiseen arviointiin. Videomateriaalin perusteella on siis määriteltävä, onko ajoneuvoyhdistelmän ja sen perässä ajavan ajoneuvon välinen aikaväli enintään kolmen sekunnin suuruinen. Mikäli ajoneuvoyhdistelmän takana on useampia ajoneuvoja, arviointi tulee suorittaa myös niiden välisten aikavälien osalta, jotta kokonaisjononpituus saadaan selville. On selvää, että virheen mahdollisuus on ilmeinen etenkin jos ajoneuvojen välinen aikaväli on lähellä kolmea sekuntia. Virheen mahdollisuus jononpituuden määrittämisessä kasvaa sitä suuremmaksi, mitä suurempi on ajoneuvoyhdistelmän takana ajavien ajoneuvojen määrä, koska etäisyys taapäin ajaviin ajoneuvoihin kasvaa. Lisäksi joissain tilanteissa ajoneuvoyhdistelmien takana ajavien ajoneuvojen määrää ei voinut videomateriaalin perusteella nähdä. Ensimmäisenä ajoneuvoyhdistelmän takana ajanut ajoneuvo saattoi peittää näkyvyyden taaksepäin tai ajoneuvojen määrää ei nähty esimerkiksi tiessä olevan kaarteiden tai mäenharjanteiden vuoksi. Tällöin jononpituus määriteltiin heti, kun se oli mahdollista. Tähän mennessä analysoidusta materiaalista jononpituuden määrittäminen oli kuitenkin sikäli yksinkertaista, että valtaosan ajasta ajoneuvoyhdistelmät ajoivat ilman seuraajia, ja pitkiä jonoja havaittiin verrattain harvoin. Silmämääräisestä arvioinnista johtuvat virheet voidaankin olettaa luonteeltaan satunnaisiksi ja niiden merkitys esitetyissä tuloksissa vähäiseksi.

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin myös seuranta-aikaa eli sitä, kuinka kauan ajoneuvoyhdistelmien takana ensimmäisenä jonossa ajavat ajoneuvot ajoivat ennen kuin lähtivät ohitukseen tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Seuranta-aikojen pituuksista laskettiin sekä keski- että mediaaniarvoja. Koska yksittäiset, hyvin pitkät seuranta-ajat kasvattavat aritmeettista keskiarvoa, ovat seuranta-aikojen mediaaniarvot käyttökelpoisempia lukuja vertailussa käytettäväksi. Koska lentävissä ohituksissa ja jono-ohituksissa seuranta-aika merkitään nolllaksi, on mielekkäämpää vertailla vain kiihdytysohituksia edeltäneitä seuranta-aikoja. Tyhjän ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohitusta edeltäneen seuranta-ajan mediaaniarvo oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 85 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 93 sekuntia. Ajoneuvot siis lähtivät ohittamaan tyhjää HCT-ajoneuvoyhdistelmää hieman aikaisemmin kuin tyhjää verrokkiyhdistelmää. Tämä saattoi johtua siitä, että tyhjän HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus oli keskimäärin alhaisempi kuin verrokkiyhdistelmällä, mikä helpottaa ohittamista. Vaikutusta voi olla myös ajoneuvoyhdistelmien kuljettajien toiminnalla: mikäli edellä ajava ajoneuvoyhdistelmä kertoo suuntamerkillä tien olevan vapaa ohittamisen suorittamiseksi, on ohitus päätöksen teko helpompaa ja nopeampaa. Kuormatun ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohitusta edeltäneen seuranta-ajan mediaaniarvo oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 76 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 78 sekuntia. Ero oli siis pienempi kuin tyhjien ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa, mutta seuranta-ajan mediaaniarvo oli edelleen HCT-

ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa hieman verrokin vastaavaa arvoa lyhyempi. Kaventunut ero seuranta-ajoissa vaikuttaa loogiselta, kun otetaan huomioon, että myös ajoneuvoyhdistelmien välisen nopeuseron todettiin olevan kuormattuna pienempi kuin tyhjänä. On kuitenkin huomattava, että riippumattomien otosten t-testin mukaan ajoneuvoyhdistelmien välinen ero seuranta-aikojen keskiarvoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Ohituksia edeltäneiden jonotusten lisäksi tutkittiin niitä seuranta-aikoja, jotka eivät päätyneet ohitukseen kaksikaistaisella tieosuudella, vaan esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmän tai sen perässä ajavan ajoneuvon reittien erkaantumiseen. Sekä tällaisten havaintojen määrä että seuranta-aikojen kestot näissä tapauksissa olivat HCT-yhdistelmän tapauksessa suurempia kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Erityisesti tyhjien ajoneuvoyhdistelmien kohdalla erot olivat merkittäviä: seuranta-ajan mediaani oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa 259 sekuntia ja verrokkiyhdistelmän tapauksessa 78 sekuntia. Kuormatun HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa seuranta-ajan mediaani oli puolestaan 287 sekuntia vastaavan luvun ollessa kuormatun verrokin tapauksessa 202 sekuntia. Myös yhteenlaskettujen seuranta-aikojen kesto oli HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa merkittävästi suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Luvut antavatkin viitteitä siitä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä ollaan valmiita ajamaan pidempiä matkoja suorittamatta ohitusta. Ero seuranta-ajoissa selittää osin sitä, miksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä havaittiin jonossa ajavia ajoneuvoja keskimäärin useammin kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Yhteenvetona seuranta-ajoista voidaankin todeta, että kiihdytysohituksia edeltäneissä seuranta-ajoissa ei havaittu kovin suurta eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä, mutta niissä seuranta-ajoissa, jotka eivät päätyneet ohitukseen, ero oli suurempi. Tämä antaa viitteitä siitä, että osa autoilijoista kokee tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamisen sisältävän liian suuria riskejä tai ei jostain muusta syystä halua suorittaa ohitusta. Suurempi keskimääräinen jononpituus sekä pidempi keskimääräinen seuranta-aika lienevät luonnollisia selityksiä sille, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksista suurempi osuus oli jono-ohituksia kuin verrokkiyhdistelmän ohituksista. Virheitä seuranta-aikaan liittyviin tuloksiin aiheuttavat samat silmämääräiseen havainnointiin liittyvät tekijät kuin jononpituuden määrittämisessäkin, mikä on syytä muistaa lukuja tulkittaessa.

### **7.3 Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytyminen**

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli myös saada tietoa HCT-ajoneuvoyhdistelmien ja normaalikokoisten ajoneuvoyhdistelmien ajoneuvodynaamisen käyttäytymisen eroista. Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen tutkittiin kahta osa-aluetta: ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia sekä niiden liikkumista kierto- ja muissa liittymissä. Lisäksi videomateriaalin avulla pyrittiin tekemään myös muita havaintoja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymisestä.

Ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia tutkittiin sekä keskinopeuksina yhdensuuntaisten matkojen aikana että hetkellisinä nopeuksina Saariselän Magneettimäessä. Saatujen havaintojen perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus oli tyhjänä keskimäärin noin 3 km/h verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisempi. Kuormattuna ero keskinopeudessa pieneni keskimäärin yhteen kilometriin tunnissa. Havaintojen määrä oli kuitenkin varsin vähäinen: keskinopeuksia laskettiin vain niiltä yhdensuuntaisilta matkoilta, joilta myös ohituksia ja jonoutumista analysoitiin. Keskinopeuksien laskemisen tarkoituksena olikin lähinnä tuottaa taustatietoa ohittamisesta ja jonoutumisesta tehtävän analyysin tueksi. Sillä, että HCT-ajoneuvon keskinopeus todettiin hieman verrokkiyhdistelmän keskinopeutta alhaisemmaksi, on vaikutuksia sekä jonoutumiseen että ohittamiseen liittyviin asi-

oihin. Hitaamman keskinopeuden vuoksi useammat ajoneuvot saavuttavat HCT-ajoneuvoyhdistelmän, jolloin syntyy ohituskysyntää. Mikäli ohitusta ei voida suorittaa heti, tapahtuu jonoutumista. Toisaalta hitaampi keskinopeus edesauttaa ohittamista, sillä ohitukseen kuluva matka ja siten myös ohitukseen tarvittavan vastaantulevasta liikenteestä vapaan tiealueen pituus pienenevät. Täten HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkia hitaampi keskinopeus ja suurempi ohitusten ja jonohavaintojen määrä ovat teoreettisen riippuvuussuhteen mukaisia. Lisäksi jonoutumiseen liittyvien tuloksien yhteydessä todettiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneiden seuranta-aikojen mediaaniarvot olivat pienempiä kuin verrokkiyhdistelmän kiihdytysohituksia edeltäneet, mikä puolestaan voi osaltaan selittyä HCT-ajoneuvoyhdistelmän verrokkia alhaisemmalla keskinopeudella.

Ajoneuvoyhdistelmien mäennousukykyä tutkittiin erityisesti Saariselän Magneettimäessä. Nousun aikaista keskinopeutta sekä hetkellisiä nopeuksia mäen eri kohdissa tutkittiin yhteensä 96:sta HCT-ajoneuvoyhdistelmän suorittamasta noususta ja 55:stä verrokkiyhdistelmän suorittamasta noususta lokakuun 2015 alun ja maaliskuun 2016 alun väliseltä ajalta. Nopeuksia Magneettimäessä tutkittiin siis merkittävästi laajemmin kuin yhdensuuntaisten matkojen aikaisia keskinopeuksia. Tehdyn analyysin perusteella nähtiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeus nousussa oli tutkittuna ajanjaksona keskimäärin 36,6 km/h eli noin 2,6 km/h alhaisempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Nousuissa havaittu alin hetkellinen nopeus oli puolestaan keskimäärin 23,4 km/h eli noin 1,2 km/h verrokkiyhdistelmän alinta nopeutta pienempi. Erot ajoneuvoyhdistelmien välillä olivat siis verrattain pieniä, mutta kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitseviä. Ennen liikennöinnin aloittamista Magneettimäen nousemista oli myös simuloitu ja tutkittu eri teho-painosuhteiden omaavien ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia mäen eri kohdissa. Simulointien perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeuden oletettiin laskevan mäen jyrkimmässä kohdassa 20–30 kilometriin tunnissa eikä HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeuksien oletettu merkittävästi eroavan verrokkiyhdistelmän kaltaisten ajoneuvoyhdistelmien nopeuksista. (Metsähallitus 2013, Metsähallitus 2015.) Nyt saadut havainnot olivat siis simulointien perusteella tehtyjen oletusten mukaisia.

Aineistosta tehtiin yksi havainto, jossa HCT-ajoneuvoyhdistelmä hetkellisesti pysähtyi Magneettimäkeen pidon loppumisen vuoksi ja varsinainen perävaunu vedettiin mäen päälle tavallisella ajoneuvoyhdistelmällä. Pidon loppuminen johtui erittäin liukkaasta kelistä sekä epäsuotuisasta kuormansijoittelusta, jonka johdosta vetävillä akseleilla oli kuormaa tavallista vähemmän. Vaikka HCT-ajoneuvoyhdistelmän mäennousukyky havaittiin keskimäärin lähes yhtä hyväksi kuin verrokkiyhdistelmän, osoittaa tapaus sen, että kuorman jakautumiseen vetävien ja muiden akselien kesken on kiinnitettävä erityistä huomiota ja että säätilaa ja tien liukkautta on havainnoitava jatkuvasti. Vaikka HCT-ajoneuvoyhdistelmä on varustettu hiekoittimella, vetävien pyörien alle ketjua heittäväällä On Spot -laitteella ja akselinnostolaitteella, jolla vetäville akseleille kohdistuvaa kuormaa voidaan säätää, on tarvittaessa odotettava esimerkiksi hiekoitusta tai muita tienpitäjän toimenpiteitä, mikäli mäen nousemiseen liittyy epävarmuutta.

Kuten myös yhdensuuntaisten matkojen keskinopeuksien tapauksessa, ohituskysyntää syntyy mäen nousun aikana keskimäärin hieman enemmän, kun ajoneuvoyhdistelmän nopeus on alhaisempi. Koska ohituspaikkoja mäessä on niukasti, näkyy tämä ajoneuvoyhdistelmien perään muodostuvina jonoina. HCT-ajoneuvoyhdistelmän aiheuttamat viivytykset sen takana mäkeä nousseille ajoneuvoille olivat siis hieman suurempia kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa; nousun kesto oli HCT-ajoneuvoyhdistelmällä keskimäärin 23 sekuntia pidempi kuin verrokkiyhdistelmällä. Toisaalta materiaalista myös nähtiin,



että HCT-ajoneuvoyhdistelmä päästi taakseen kertyneen jonon mäen päällä ohitseen useammin kuin verrokkiyhdistelmä.

Ajoneuvoyhdistelmien keskinopeudet sekä yhdensuuntaisilla matkoilla että Magneettimäen nousujen aikana laskettiin yksinkertaisesti matkaan käytetyn ajan ja matkan pituuden avulla, joten keskinopeuksiin liittyvät tulokset ovat verrattain tarkkoja. Ajoneuvoyhdistelmien hetkellisiä nopeuksia seurattiin tutkimuslaitteiston GPS-paikantimen tuottaman nopeustiedon avulla. Kuten aliluvussa 7.1 todettiin, laitteisto ilmoittaa nopeustiedon yhden tuntikilometrin tarkkuudella ja nopeus päivittyy muutaman sekunnin välein. Tämän vuoksi hetkellisessä nopeudessa esiintyy pientä epätarkkuutta erityisesti tilanteessa, jossa ajoneuvon nopeus muuttuu nopeasti. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että ajoneuvoyhdistelmien nopeuksia Magneettimäessä kuvaavassa kuvassa 6.9 nopeus näyttää muuttuvan portaittain, mikä ei luonnollisesti vastaa todellista tilannetta. Kerätyn aineiston avulla saatiin kuitenkin hyvä yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien nopeustasojen erojen suuruusluokasta. Syvällisemmin ajoneuvodynamiikkaan keskittyvissä tutkimuksissa on syytä käyttää tarkempaa nopeudenmittausmenetelmää sekä ottaa huomioon esimerkiksi keliolosuhteiden, ajoneuvoyhdistelmien kokonaismassan sekä kuljettajien toiminnan vaikutukset ajoneuvoyhdistelmien nopeuksiin.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä kiertoliittymissä ja reitin muissa liittymissä tutkittiin analysoimalla kerättyä videomateriaalia. Analyysin perusteella todettiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmä mahtui ajamaan liittymistä ilman merkittäviä ongelmia. Pitkän yhdistelmän tilantarve oli kuitenkin nähtävissä yhdistelmän takimmaisten pyörien suurempana oikaisuna kiertoliittymien keskisaarekkeen puolelle sekä laajempina ajolinjoina myös muissa liittymissä. Kiertoliittymissä ajettaessa HCT-yhdistelmä joutui hyödyntämään kaiken käytettävissä olevan tilan tarkasti hyväkseen, joten niissä liikkuminen vaati erityistä tarkkuutta. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän materiaalista oli lisäksi havaittavissa, että talviset olosuhteet lisäsivät liittymäajon haasteellisuutta käytettävissä olevan tilan vähenemisen ja pidon heikkenemisen myötä. Tämä näkyi erityisesti kiertoliittymissä varsinaisen perävaunun kallisteleminen sekä sen takapään sivuttaissuuntaisena liukumisena keskisaarekkeen kaltevalta kiveykseltä kiertoliittymän ulkoreunaa kohti. Yhdistelmien ei kuitenkaan havaittu esimerkiksi osuneen liittymäalueiden liikennemerkkeihin eikä läheltä piti -tilanteitakaan havaittu. Liittymissä ajamista oli simuloitu ennen liikennöinnin aloittamista ja todettu liikennöinti tavallista pidemmällä yhdistelmällä mahdolliseksi, joten saadut havainnot olivat simulointien mukaisia (Metsähallitus 2013).

Kerätty materiaali ja sen visuaalinen analysointi ei anna täysin kattavaa ja täsmällistä kuvaa ajoneuvoyhdistelmien liikeradoista kiertoliittymissä. Tarkempien tulosten saamiseksi liikeratoja voitaisiin kuvata videokameralla varustetulla, kauko-ohjattavalla multikopterilla kiertoliittymien yläpuolelta. Näin nähtäisiin paremmin myös ajoneuvoyhdistelmien oikeanpuoleisten renkaiden liikeradat kiertoliittymän kiertotilaan ajettaessa sekä siitä poistuttaessa. Tehdyn analyysin perusteella saatiin kuitenkin hyvä yleiskuva ajoneuvoyhdistelmien ajourien eroista. Sen perusteella voidaan todeta, että HCT-ajoneuvoyhdistelmä mahtui liikkumaan reitin liittymissä, mutta ylimääräistä tilaa ei juuri jäänyt. Mikäli HCT-ajoneuvoyhdistelmät tulevaisuudessa yleistyvät, on niiden suurempi tilantarve syytä ottaa huomioon liittymiä suunniteltaessa. Tulosuuntien taivutuskulmaa kasvattamalla, kiertoliittymien ulkohalkaisijaa kasvattamalla ja keskisaarekkeen halkaisijaa pienentämällä voitaisiin parantaa tavallista pidempien ajoneuvoyhdistelmien liikkumisen sujuvuutta. Lisäksi tien talvihoidollisia toimenpiteitä tehtäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, että lumi vähentää käytettävissä olevaa tilaa mahdollisimman vähän.

Videomateriaalin perusteella pyrittiin havainnoimaan myös muita ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyviä seikkoja nopeuksien ja liittymäajon lisäksi. Ajoneuvoyhdistelmien sivuttaissuuntaisessa heilunnassa ei nähty merkittävää eroa tien linjaosuuksilla eikä yhdistelmien suorittamien aktiivisten ohitusten aikana. Myös jarrutuksissa yhdistelmät käyttäytyivät silmämääräisen arvion perusteella vakaasti. On kuitenkin todettava, että videomateriaaliin perustuva menetelmä ei ole tarpeeksi tarkka esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetin vertailemiseksi. Niinpä tämän tutkimuksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmätyyppien sivuttaissuuntaisesta vakavuudesta. Eksaktien tulosten aikaansaamiseksi tarvittaisiin tietoa esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmän eri osien sivuttaiskiihtyvyyksistä. Ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettiin liittyvää tutkimusta tehdään parhaillaan Oulun yliopistossa.

## 8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä verrattiin HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja normaalikokoisen verrokkiyhdistelmän vaikutuksia ohituksiin ja jonoutumiseen liittyviin tekijöihin. Lisäksi työssä pyrittiin havainnoimaan ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyviä eroja. Tutkimusmateriaalia kerättiin Ketosen Kuljetus Oy:n 104 tonnia painavalla ja 33 metriä pitkällä HCT-yhdistelmällä sekä sen 76 tonnia painavalla ja noin 25 metriä pitkällä verrokkiyhdistelmällä Ivalon ja Rovaniemen väliseltä reitiltä. Analysoitu materiaali kerättiin lokakuun 2015 ja maaliskuun 2016 välisenä aikana. Tutkimusmenetelmänä käytettiin ajoneuvoyhdistelmien ympärillä tapahtuvien asioiden videokuvaamista ja näin kerätyn materiaalin jälki-analysoimista. Kenttämittausten lisäksi diplomityön osana tehtiin kirjallisuusselvitys, jossa selvitettiin raskaiden ajoneuvojen kokoa ja sitä määrittelevää lainsäädäntöä Suomessa, raskaiden ajoneuvojen vaikutuksia liikennevirtaan, HCT-kuljetusten tilannetta maailmalla sekä aiempia HCT-ajoneuvoista tehtyjä tutkimuksia. Diplomityö muodostaa osan Liikenneviraston Aalto-yliopistolta tilaamasta tutkimuksesta, jonka tavoitteena on selvittää, millaisia vaikutuksia tavallista suuremmilla HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on liikennevirtaan ja liikenteen sujuvuuteen normaalikokoisiin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna. Kokonaistutkimuksessa materiaalia kerätään Ivalon ja Rovaniemen välisen reitin lisäksi Kempeleen ja Vantaan välisellä reitillä tapahtuvista päivittäistavarakaupan kuljetuksista sekä Saimaan ympäristössä tapahtuvista raakapuu- ja puuhakekuljetuksista.

Ajoneuvoyhdistelmien väliset erot ohituskäyttäytymiseen liittyen havaittiin verrattain pieniksi. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän passiivisten ohitusten kestojen todettiin eroavan toisistaan oletettua vähemmän. Tämä johtui ensisijaisesti siitä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus ohitusten aikana oli pienempi kuin verrokkiyhdistelmällä, jolloin ohittajan ja ohitettavan välinen nopeusero oli suurempi ja ohitusten kesto lyheni. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän ohittajien ohitusten aikaisten nopeuksien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Ohittajien nopeuksien todettiin riippuvan ensisijaisesti ohitettavan ajoneuvon nopeudesta eikä siitä, oliko ohitettava ajoneuvo HCT- vai verrokkiyhdistelmä tai tyhjä vai kuormattu yhdistelmä. Verrokkiyhdistelmän ohittajien nopeudet korreloivat voimakkaammin ohitettavan ajoneuvoyhdistelmän nopeuden kanssa kuin HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajien nopeudet.

Ohittajien hyväksymien ohitusaikavälien suuruudessa ei havaittu merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat kuitenkin hylkäsivät hieman pidempiä aikavälejä kuin verrokkiyhdistelmän ohittajat. Hyväksytyjen ja hylättyjen aikavälien avulla laskettu kriittisen aikavälin keskiarvo oli myös HCT-ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän tapauksessa. Havainto osoittaa, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittajat varautuivat tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseen rationaalisesti eli vaatimalla ohitukseen hieman pidemmän vastaantulevasta liikenteestä ja näkemäesteistä vapaan tiealueen. HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohituksissa havaittiin kuitenkin enemmän epäjohtonmukaista käytöstä eli tilanteita, joissa ohittamaan pyrkivät ajoneuvot hyväksyivät ohitukseen lyhyemmän aikavälin kuin olivat aiemmin hylänneet. Havainto antaa viitteitä siitä, että osalle kuljettajista tavallista pidemmän ajoneuvoyhdistelmän ohittamiseksi vaadittavan vapaan tiealueen arviointi saattaa olla vaikeampaa kuin tavallisen ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän tuottamasta materiaalista havaittiin, että ohittamaan pyrkivät kuljettajat olivat valmiita hylkäämään pitkiäkin aikavälejä, mikäli vastaantuleva ajoneuvo oli näkyvissä.

Ohitusturvallisuutta puolestaan tutkittiin mittaamalla ohitusten turva-aikoja. Turva-ajat olivat alhaisten liikennemäärien vuoksi keskimäärin hyvin pitkiä, eikä turva-aikojen pituudessa havaittu merkittävää eroa ajoneuvoyhdistelmien välillä. Suurimmassa osassa tutkituista ohituksista vastaantulevia ajoneuvoja ei ollut näkyvissä ohituksen alkaessa. Tutkimuksen edetessä turva-aikoja tullaan mittaamaan myös tieosuuksilla, joilla liikennemäärät ovat suurempia. Vilkkaamman liikenteen omaavilta tieosuuksilta saatavat tulokset kertonevat ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudesta enemmän kuin nyt saadut tulokset, joten tämän tutkimuksen osalta yleistettävää johtopäätöksiä HCT-ajoneuvoyhdistelmien ohitusturvallisuudesta ei vielä kannata vetää.

Jonoutumiseen liittyen tutkittiin jononpituuksia ajoneuvoyhdistelmien perässä sekä sitä, kuinka kauan ajoneuvoyhdistelmien perässä ensimmäisenä ajaneet ajoneuvot ajoivat jonossa ennen kuin lähtivät ohitukseen tai ennen kuin jonotus jostain muusta syystä päättyi. Yleisesti ottaen jonoutuminen ei ollut kummankaan ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa ongelma, sillä valtaosan ajasta ajoneuvoyhdistelmät ajoivat ilman seuraajia ja pitkiä jonoja havaittiin hyvin vähän. Keskimääräinen jononpituus HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä oli hieman suurempi kuin verrokkiyhdistelmän perässä. Tämä selittyy osin sillä, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän perässä havaittiin enemmän ajoneuvoja, jotka eivät suorittaneet ohitusta. Lisäksi HCT-ajoneuvoyhdistelmän nopeus todettiin hieman verrokkiyhdistelmän nopeutta alhaisemmaksi, mikä lisäsi ajoneuvon saavutettavuutta ja siten myös jonoutumista. Seuranta-aikojen pituuksissa ei kuitenkaan havaittu merkittävää ajoneuvoyhdistelmien välistä eroa niissä jonotustapauksissa, jotka päättyivät ohitukseen kaksikaisilla tiealueilla. Seuranta-aikahavaintojen perusteella suurimmalle osalle ohittamaan pyrkivistä kuljettajista tavallista pidemmän HCT-ajoneuvoyhdistelmän ohittaminen ei siis ollut verrokkiyhdistelmän ohittamista vaativampaa. Havainnot kuitenkin antavat viitteitä siitä, että sellaisten kuljettajien osuus, jotka eivät pyri ohittamaan edellä ajavaa ajoneuvoyhdistelmää, saattaa olla hieman suurempi HCT-ajoneuvoyhdistelmän kuin verrokkiyhdistelmän takana jonottavista kuljettajista.

Ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyen havaittiin, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän keskinopeudet sekä nopeudet Saariselän Magneettimäessä olivat hieman verrokkiyhdistelmän nopeuksia alhaisempia. Magneettimäen nousuissa ajoneuvoyhdistelmien väliset keskinopeuksien ja alimpien nopeuksien erot eivät olleet kovin suuria, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitseviä. Kummankin ajoneuvoyhdistelmän materiaalista oli nähtävissä, että keliolosuhteilla on huomattava vaikutus nousun kestoon ja nousunopeuksiin. Lisäksi tapaus, jossa HCT-ajoneuvoyhdistelmä pysähtyi Magneettimäkeen pidon loppumisen vuoksi osoittaa, että kuorman sijoitteluun ja säätilan äkillisiin muutoksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota ja tarvittaessa on odotettava tienpitäjän toimenpiteitä, mikäli mäen nousemiseen liittyy epävarmuutta. Tutkitun materiaalin perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmän mäennousukyky Magneettimäessä oli simulointeihin perustuneiden oletusten kaltainen eli hieman normaalikokoista verrokkiyhdistelmää heikompi. Jotta erilaisten ajoneuvoyhdistelmien mäennousukyvystä saataisiin tarkempia tuloksia, olisi aiheesta tehtävä tarkempia tutkimuksia.

Yleisesti ottaen ajoneuvon hitaampi nopeus lisää ajoneuvon saavutettavuutta. Käytännössä tämä näkyy kasvavana ohituskysyntänä ja jonoutumisena ajoneuvon takana. Toisaalta alhaisemmalla nopeudella on myös positiivisia vaikutuksia: hitaammin ajavan ajoneuvon ohittaminen on helpompaa, sillä ohittaminen vie vähemmän aikaa ja sen suorittamiseksi tarvitaan lyhyempi vastaantulevasta liikenteestä ja näkemäesteistä vapaa tiealue. Lisäksi alhaisempi nopeus pienentää polttoaineenkulutusta ja saattaa parantaa ajoneu-

voyhdistelmän käsiteltävyyttä ja siten pienentää erilaisia onnettomuusriskejä. Lisäksi kuljettajat voivat omalla toiminnallaan kompensoida ajoneuvoyhdistelmän nopeuden vaikutuksia: mikäli taakse kertyy pitkiä jonoja, voidaan jonottajat mahdollisuuksien mukaan päästää ohi siirtymällä esimerkiksi bussipysäkille. Lisäksi yksittäisiä ohituksia voidaan helpottaa osoittamalla suuntamerkillä edessä oleva tiealue vapaaksi vastaantulijoista. Videomateriaalin perusteella kuljettajat myös suorittivat edellä mainittuja toimenpiteitä.

Nopeuksien lisäksi tutkittiin ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymistä kiertoliittymissä ja reitin muissa liittymissä. Videomateriaalin perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmä mahtui ajamaan kaikista reitin kiertoliittymistä ilman vahinkoja tai ongelmia. HCT-ajoneuvoyhdistelmän pyyhkäisyala todettiin kuitenkin selvästi verrokkiyhdistelmän pyyhkäisyalaa suuremmaksi, ja HCT-yhdistelmän kuljettajien oli käytettävä kaikki kiertoliittymissä käytettävissä oleva tila tarkasti hyväkseen. Talvella lumi vähensi käytettävissä olevaa tilaa edelleen ja lisäksi liukas tienpinta lisäsi liittymäajon haasteellisuutta. HCT-ajoneuvoyhdistelmän suurempi tilantarve voitiin nähdä myös muissa liittymissä verrokkiyhdistelmästä poikkeavina ajolinjoina. Koska liittymiä suunniteltaessa mitoitusajoneuvona on Suomessa yleisesti käytetty 25,25 metriä pitkää moduuliyhdistelmää, on sitä suurempien ajoneuvoyhdistelmien ajouria liittymissä tutkittava tapauskohtaisesti HCT-poikkeuslupia haettaessa. Mikäli HCT-ajoneuvot tulevaisuudessa yleistyvät esimerkiksi tietyillä kuljetuskäytävillä, voitaisiin suurempien ajoneuvoyhdistelmien tilantarve ottaa huomioon liittymien mitoituksessa. Tällöin yksittäisiin ajouratarkasteluihin ei tarvitsisi käyttää resursseja ja toisaalta HCT-ajoneuvojen liikkuminen liittymissä olisi sujuvampaa.

Videomateriaalin perusteella pyrittiin myös havainnoimaan muita ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen liittyviä tekijöitä. Ajoneuvoyhdistelmien eri osien heilumista tarkasteltiin erityisesti niiden suorittamien aktiivisten ohitusten aikana. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmien vakautta seurattiin esimerkiksi voimakkaampien jarrutusten aikana. Merkittäviä eroja ajoneuvoyhdistelmien välillä ei silmämääräisissä tarkasteluissa havaittu. On kuitenkin huomattava, ettei käytetty menetelmä anna tarkkaa kuvaa ajoneuvoyhdistelmien stabiiliteetista. Asiaa on tutkittava tarkemmin siihen soveltuvalla tutkimuslaitteistolla.

Kaiken kaikkiaan erot HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja verrokkiyhdistelmän välillä todettiin verrattain pieniksi. Tähän mennessä saatujen tulosten perusteella HCT-ajoneuvoyhdistelmällä ei ole merkittäviä negatiivisia vaikutuksia esimerkiksi liikenteen sujuvuuteen. Lisäksi ajoneuvoyhdistelmien kuljettajat voivat kompensoida esimerkiksi jonoutumista viestimällä sopivista ohituspaikoista jonottajille suuntamerkin avulla. On huomattava, että tässä tutkimuksessa tavallista suurempien ajoneuvoyhdistelmien vaikutuksia muuhun liikenteeseen tutkittiin yksittäisten ajoneuvojen tasolla. Tutkimuksessa saatujen ja tutkimusprojektissa myöhemmin saatavien tietojen avulla HCT-ajoneuvojen vaikutuksia muuhun liikenteeseen voitaisiin siirtyä tarkastelemaan liikenneverkon tasolla, jolloin voitaisiin tutkia esimerkiksi sitä, millaisia vaikutuksia liikenteeseen olisi sillä, että tietty määrä normaalikokoisia ajoneuvoyhdistelmiä korvattaisiin suuren hyötykuorman ajoneuvoyhdistelmillä. Tällöin raskaiden ajoneuvoyhdistelmien kokonaismäärä tieverkolla vähenisi, mikä vaikuttaisi edelleen esimerkiksi liikennevirrassa havaittavien aikavälien jakumaan. Vaikka esimerkiksi jonoutuminen yksittäisen HCT-ajoneuvoyhdistelmän takana saattaisi kasvaa, voisi jonossa ajavien ajoneuvojen kokonaismäärä silti pienentyä vähentyneen raskaiden ajoneuvojen määrän vuoksi.

Kuten todettua, tämä diplomityö on osa laajempaa tutkimusprojektia. Työssä esitettyjä tuloksia luettaessa tuleekin ottaa huomioon, että ne on saatu sekä ajallisesti että maantie-

teellisesti varsin rajallisesta havaintoaineistosta. Tutkimusprojektin edetessä tietoa saadaan myös muilta reiteiltä ja muunlaisista ajoneuvoyhdistelmistä. Laajemman aineiston avulla voidaan tarkentaa tässä työssä käsiteltyihin tutkimuskysymyksiin liittyviä tietoja sekä vertailla esimerkiksi erilaisten ajoneuvoyhdistelmien välisiä eroja ja saada tietoa tiettyihin, vuoden- ja vuorokaudenajan sekä kelin vaikutuksista tutkittaviin ilmiöihin.

## Lähdeluettelo

Af Wählberg, A. E. 2008. *Meta-analysis of the difference in accident risk between long and short truck configurations*. Journal of risk research. Vol. 11: 3. S. 315-333. [Viitattu 10.12.2015].

Ahonen, J. 2015. *Raskaan kaluston uudet massa- sekä mittamuutokset. Valtioneuvoston käyttöasetuksen muutos 407/2013*. Opinnäytetyö. Mikkeli: MAMK University of applied sciences. 82 s. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88541/Ahonen\\_Joel.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88541/Ahonen_Joel.pdf?sequence=1).

Andersson, J., Renner, L., Sandin, J., Fors, C., Strand, N., Hjort, M., Andersson Hultgren, J. & Almqvist, S. 2011. *Trafiksäkerhetspåverkan vid omkörning av 30-metersfordon*. Linköping, Sweden: Statens väg- och transportforskningsinstitut VTI. 64 s. + liitteet. ISSN: 0347-6030. Saatavissa: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/trafiksakerhetspaeverkan-vid-omkorning-av-30-metersfordon.pdf>.

Andersson, J., Sandin, J., Renner, L., Fors, C., Strand, N., Hjort, M., Andersson Hultgren, J. & Almqvist, S. 2012. *Traffic safety effects when overtaking 30 meter trucks*. Advances in Human Factors and Ergonomics 2012- 14 Volume Set: Proceedings of the 4th AHFE Conference 21-25 July 2012.

Bálint et al. 2014. *Accident analysis for traffic safety aspects of high capacity transports*. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology. 39 s. Saatavissa: [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/198451/local\\_198451.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/198451/local_198451.pdf).

Barton, R. A. & Morral, J. 1998. *Study of long combination vehicles on two-lane highways*. Transportation Research Board: Transportation research record 1613. Paper No 98-0007.

Blomberg, O. 1996. *Suomen kuorma-autoliikenteen historia I*. Forssa: Forssan kirjapaino Oy. 276 s. ISBN: 951-9294-26-0.

Botma, H. 1986. *Traffic operation on busy two-lane rural roads in the Netherlands*. Transportation Research Board: Transportation Research Record 1091.

Brilon, W., Koenig, R. & Troutbeck, R. J. 1999. *Useful estimation procedures for critical gaps*. Transportation research part A: policy and practice. Vol. 33: 3-4. S. 161-186. [Viitattu 30.3.2016]. DOI 10.1016/S0965-8564(98)00048-2.

Cider, L. & Ranäng, S. 2013. *Slutrapport Duo2-Trailer*. Stockholm, Sverige: FFI For-donsstrategisk forskning och innovation. 16 s. Saatavissa: [http://www.vinnova.se/Page-Files/751290063/2010-02849\\_publickrapport\\_SV.pdf](http://www.vinnova.se/Page-Files/751290063/2010-02849_publickrapport_SV.pdf).

Closer. 2015. *Årsrapport High Capacity Transport*. 45 s. Saatavissa: [http://closer.lindholmen.se/sites/default/files/content/resource/files/arsrapport\\_high\\_capacity\\_transport\\_2014\\_-\\_final.pdf](http://closer.lindholmen.se/sites/default/files/content/resource/files/arsrapport_high_capacity_transport_2014_-_final.pdf).

Duo2.nu. 2015a. *Duo2 - Klimatsmarta transporter*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saata-vissa: <http://duo2.nu/>.



Duo2.nu. 2015b. *Bilder DUO-trailer*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saatavissa: [http://duo2.nu/?page\\_id=53](http://duo2.nu/?page_id=53).

Duo2.nu. 2015c. *Bilder DUO-kärä*. [Online]. Viitattu 10.01.2016. Saatavissa: [http://duo2.nu/?page\\_id=13](http://duo2.nu/?page_id=13).

Enberg, Å. 1988. *Köbildning på tvåfältsvägar*. Diplomarbetet. Esbo: Tekniska högskolan. 255 s.

EUR-lex. 1996. *Neuvoston direktiivi 96/53/EY*. [Online]. Viitattu 25.9.2015. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:31996L0053>.

Finlex. 1992. *Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä*. [Online]. Viitattu 3.10.2015. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19921257>.

Finlex. 1997. *Asetus ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista annetun asetuksen muuttamisesta*. [Online]. Viitattu 21.3.2016. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970671>.

Finlex. 2013. *Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta*. [Online]. Viitattu 21.8.2013. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130407>.

Grislis, A. 2010. *Longer combination vehicles and road safety*. Transport. Vol. 25: 3. S. 336–343. [Viitattu 20.11.2015]. DOI 10.3846/transport.2010.41.

Gröndahl, T. *High Capacity Transports. Fallstudier: Ekonomiska och miljömässiga jämförelser mellan HCT, konventionell lastbil och järnväg*. Examensarbete. Stockholm, Sverige: Kungliga tekniska högskolan. 63 s. + liitteet. Saatavissa: [http://www.kth.se/popoly\\_fs/1.352187!/Menu/general/column-content/attachment/X12\\_018\\_report.pdf](http://www.kth.se/popoly_fs/1.352187!/Menu/general/column-content/attachment/X12_018_report.pdf).

Hammarström, U. 1978. *Omkörningar av långa fordonskombinationer. Studie av mötesmarginaler*. Linköping, Sverige: Statens väg- och trafikinstitut VTI. 138 s. + liitteet. Saatavissa: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/omkorningar-av-langa-fordonskombinationer--studie-av-motesmarginaler.pdf>.

Hanley, P. F. & Forkenbrock, D. J. 2005. *Safety of passing longer combination vehicles on two-lane highways*. Transportation research part A: Policy and practice. Vol 39: 1. S. 1–15. [Viitattu 30.9.2016]. DOI: 10.1016/j.tra.2004.09.001.

Heikinheimo, I. 2009. *Annetaanpa välikaasua! 50 vuotta autohistoriallista osaamista*. Helsinki: Suomen Autobiili-Historiallinen Klubi - Finlands Automobil-Historiska Klubb ry. 376 s. ISBN: 978-952-92-5909-0.

Hievanen, J. 2015. *Lapin 104-tonninen nousee Magneettimäen liukkailla. Talvivarustus ei jätä pulaan*. Ajolinja 9/2015, s. 4–7.

Hs.fi. 2015. *Mitä suurempi sen parempi: Suomen pisin rekka lähti tänään neitsytmatkalle*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://www.hs.fi/autot/a1426226779774>.

Ilgner, F. & Benrick, P. *Potential of high capacity transport solutions (road). Two case studies in the region of Örebro, Sweden*. Örebro, Sweden: Örebro regional development council. 47 s. Saatavissa: [http://media.grecor.eu/2012/10/GreCOR\\_final\\_report\\_HCT\\_Case\\_studies.pdf](http://media.grecor.eu/2012/10/GreCOR_final_report_HCT_Case_studies.pdf).

Ilmatieteenlaitos.fi. 2016. *Talvisään tilastoja*. [Online]. Viitattu 10.3.2016. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilastot>.

Jakonen, J. 1991. *Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen*. Helsinki: Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 42/1991. 76 s. ISSN: 0788-3722.

Jonsson, R. & Åkerman, I. 2007. *European Modular System for road freight transport - experiences and possibilities*. Stockholm, Sweden: TFK - Transportforsk AB. 81 s. + liitteet. ISBN: 978-91-85665-07-5. Saatavissa: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/get-file.aspx?itemid=390>.

Kallberg, H. 1980. *Overtakings and platoons on two-lane rural roads*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 98 s. + liitteet. ISBN 951-38-1019-4.

Kauppalehti.fi. 2015. *Nyt on rekalla kokoa: Suomen pisin tien päälle*. [Online]. Viitattu 29.9.2015. Saatavissa: <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/suomen-pisin-jattirekka-lahti-tien-paalle/rWdC45cb>.

Ketosenliikenne.fi. 2016. *Yleistä*. [Online]. Viitattu 9.3.2016. Saatavissa: [http://ketosenliikenne.fi/?page\\_id=5](http://ketosenliikenne.fi/?page_id=5).

Kharrazi, S., Karlsson, R., Sandin, J. & Aurell, J. 2015. *Performance based standards for high capacity transports in Sweden*. Linköping, Sweden: Swedish national road and transport research institute VTI. 73 s. ISSN: 0347-6030. Saatavissa: <http://www.vti.se/en/publications/pdf/performance-based-standards-for-high-capacity-transports-in-sweden-fiffi-project-2013-03881-report-1-review-of-existing-regulations-and-literature.pdf>.

Kinnunen, T. & Simonen, M. 2011. *Porokolarit ja niiden vähentäminen*. Rovaniemi: Lapin ELY-keskus. 59 s. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/57378/Loppuraportti2011.pdf/3ff241ea-b975-4c64-820c-a761e40950b7>.

Knight, I., Newton, W. & McKinnon, A. 2008. *Longer and/or longer and heavier goods vehicles (LVHs) - a study of the likely effects if permitted in the UK: Final report*. Berkshire, United Kingdom: IHS. 311 s. ISBN: 978-1-846-08-719-6. Saatavissa: <https://www.nomegatrucks.eu/deu/service/download/trl-study.pdf>.

Konepörssi.com. 2009. *Tehokkaampaa, vihreämpää puukyytiä*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa: <http://www.koneporssi.com/uutiset/tehokkaampaa-vihreampaa-puukyytia/>.

Konepörssi.com. 2013. *Suuremmilla puuautoilla parempaa tehokkuutta*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa: <http://www.koneporssi.com/uutiset/suuremmilla-puuautoilla-parempaa-tehokkuutta/>.

Korpilahti, A. & Venäläinen, P. 2015. *HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutus puutavarakuljetusten tehostamisessa*. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. 72 s. ISBN: 978-952-227-988-0. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/42887/HCT-ajoneuvoyhdistelmien\\_vai-kutus\\_puutavarakuljetusten\\_tehostamisessa\\_Esiselvitys.pdf](http://www.tem.fi/files/42887/HCT-ajoneuvoyhdistelmien_vai-kutus_puutavarakuljetusten_tehostamisessa_Esiselvitys.pdf).

Ksml.fi. 2015. *Jättirekka alkaa liikennöidä Nelostiellä*. [Online]. Viitattu 9.9.2015. Saatavissa: <http://www.ksml.fi/uutiset/talous/keskon-34-metrinen-jattirekka-ilmestyy-nelostielle/2004729>.

Kuljetusyrittäjä. 2015. *Orpe kuljetus panostaa tulevaisuuteen*. Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry:n jäsenlehti 2/15. S. 22–25. Saatavissa: [http://www.skal.fi/files/14728/KY\\_2\\_2015\\_web\\_sisalto.pdf](http://www.skal.fi/files/14728/KY_2_2015_web_sisalto.pdf).

Kyster-Hansen, H. & Sjögren, J. *Roadmap high capacity transports on road in Sweden*. Gothenburg, Sweden: Closer. 67 s. Saatavissa: [http://www.lindholmen.se/sites/default/files/content/PDF/2013-08-13\\_roadmap\\_hct-roads\\_final.pdf](http://www.lindholmen.se/sites/default/files/content/PDF/2013-08-13_roadmap_hct-roads_final.pdf).

Lahti, O. & Tanttu, A. 2016. *HCT-liikenteen kesäajan raportti 2015*. Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 14 s. Saatavissa: [http://www.trafi.fi/filebank/a/1453359017/9994eb4fca6d9c1489cf8ec939fbc1e3/19562-HCT-ohjausryhman\\_kesaajan\\_raportti\\_120116.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1453359017/9994eb4fca6d9c1489cf8ec939fbc1e3/19562-HCT-ohjausryhman_kesaajan_raportti_120116.pdf).

Lapin Tuli Oy. 2015. *Jätin matkassa – euroja ja luontoa säästäen*. [Online]. Viitattu 9.3.2016. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=tIFcKTN1ZvI>.

Lehtinen, J. 1999. *Ohitusnäkemät*. Helsinki: Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka. Tielaitoksen selvityksiä 16/1999. 81 s. + liitteet. ISBN 951-726-524-7.

Lehtinen, J. 2015. *Nonlinear Lateral Dynamic Behavior of a High Capacity Transport Vehicle*. Master's thesis. Espoo: Aalto University. School of Engineering. 94 s.

Lehtonen, S. 2008. *Raskaan liikenteen määrän vaikutus kaksikaistaisten teiden liikenteen sujuvuuteen ja liikenneturvallisuuteen*. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 127 s.

Liikennevirasto. 2015a. *LAM-kirjat vuodelta 2014 liikennevastualueittain (Ely)*. [Online]. Viitattu 10.3.2016. Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/tilastot/tietilastot/lam-kirjat#.VuCkmVKI8vc>.

Liikennevirasto. 2015b. *Liikennemääräkartat*. [Online]. Viitattu 14.3.2016. Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/kartat/liikennemaarakartat#.VuFiUEZKWyg>.

Liikennevirasto. 2015c. *Tietilasto 2014*. Helsinki: Liikennevirasto. Liikenneviraston tilastoja 7/2015. 49 s. ISBN 978-952-317-114-5. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti\\_2015-07\\_tietilasto\\_2014\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2015-07_tietilasto_2014_web.pdf).

Lt.se 2014. *Scania premiäråker Sveriges längsta lastbil*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://lt.se/nyheter/sodertalje/1.2547616-scania-premiaraker-sveriges-langsta-lastbil>.

- Luttinen, R. T. 2001. *Capacity and level of service on Finnish two-lane highways*. Helsinki: Finnish road administration. 234 s. ISBN 951-726-748-7. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/s12/htdocs/photo/julkaisut/3200665etwo\\_line\\_highways.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/s12/htdocs/photo/julkaisut/3200665etwo_line_highways.pdf).
- Luttinen, R. T., Pursula, M. & Innamaa, S. 2005. *Liikennevirran ominaisuudet*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 316 s. ISSN 0781-5387.
- Löfroth, C. & Svenson, G. 2012. *ETT - modulsystem för skogstransporter - En Trave Till (ETT) och Större Travar (ST)*. Arbetsrapport. Uppsala, Sweden: Skogforsk. 40 s. ISSN: 1404-305X. Saatavissa: <http://www.skogforsk.se/contentassets/2879c48ec0bd4cc8b5f10058f1611c24/arbetsrapport-758-2012.pdf>.
- Marlina, S. 2012. *Understanding the dynamics of truck traffic on freeways by evaluating truck passenger car equivalent (PCE) in the Highway Capacity Manual (HCM) 2010*. Doctoral thesis. Denver, USA: University of Colorado. 218 s. + liitteet. Saatavissa: [http://dspace.library.colostate.edu/webclient/DeliveryManager/digi-tool\\_items/dss01\\_storage/2012/12/06/file\\_1/175005](http://dspace.library.colostate.edu/webclient/DeliveryManager/digi-tool_items/dss01_storage/2012/12/06/file_1/175005).
- McGowen, P. & Stanley, L. 2012. *Alternative methodology for determining gap acceptance for two-way stop-controlled intersections*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 138: 5. S. 495–501. [Viitattu 3.3.2016]. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000358.
- McLean, J. R. 1989. *Two-lane highway traffic operations. Theory and practice*. New York, USA: Gordon And Breach Science Publicers. 399 s. ISBN 2-88124-725-3.
- Mellin, A. & Ståhle, J. *Omvärlds- och framtidsanalys - längre och tyngre väg- och järnvägsfordon*. Linköping, Sverige: Statens väg- och trafikinstitut VTI. 63 s. + liitteet. ISSN: 0347-6030. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670556/FULLTEXT01.pdf>.
- Metsähallitus. 2013. *Suurten ajoneuvoyhdistelmien käyttökokeilu Lapissa*. Rovaniemi: Lapin liikenneturvallisuusfoorumi 13.11.2013. Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/1815644/Isojen+rekkojen+kokeilu+Lapissa/20b9b9c0-29e5-4629-b02f-d0a309a015b6>.
- Metsähallitus. 2015. *Enemmän kuormaa – vähemmän päästöjä ja kustannuksia*. Saatavissa: [http://www.e-julkaisu.fi/metsahallitus/autoesite/pdf/MH\\_Autoesite\\_A4\\_final\\_2.pdf](http://www.e-julkaisu.fi/metsahallitus/autoesite/pdf/MH_Autoesite_A4_final_2.pdf).
- Metsämaailma.fi. 2014. *Iso ja hyvätapainen pölliautoinnovaatio tutkii ja kehittää puutavarankokonaislogistiikkaa*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <https://www.metsamaailma.fi/fi/News/Blog/Sivut/puutavarayhdistelma-jattirekka-liikenteessa.aspx>.
- Metsäteho.fi. 2015. *Puutavaran HCT-yhdistelmien tutkimus*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/hct/#ketosen-kuljetus-oy>.
- Montufar, J., Regerh, J., Rempel, G. & McGregor, R. 2007. *Long combination vehicle (LCV) safety performance in Alberta: 1999-2005*. Alberta, Canada: Alberta infrastructure and transportation policy and corporate services division. Saatavissa: <http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType61/production/LCVFinalReport2005.pdf>.

Morrall, J.F. & Werner, A. 1984. *A Unified traffic Flow Theory Model for Two Lane Rural Highways*. Transportation forum vol. 1–3. S. 79–87.

Ojanen, O. 2000. *Kuorma-autot kipillä, kopalla ja rekalla 1900–1960 -luvuilla*. Helsinki: Alfamer. 143 s. ISBN: 9789525089547.

OP Oulun yrityslehti. 2015. *Jättirekka sahaa Kempeleen ja Vantaan väliä*. OP Oulun yrityslehti 1/2015. S. 4.

Orpekuljetus.fi. 2014. *HCT-yhdistelmä liikenteessä*. [Online]. Viitattu 14.3.2016. Saatavissa: <http://www.orpekuljetus.fi/orpe/?p=835>.

Orpekuljetus.fi. 2015. *Esittely - Orpe Kuljetus*. [Online]. Viitattu 10.10.2015. Saatavissa: [http://www.orpekuljetus.fi/orpe/?page\\_id=10](http://www.orpekuljetus.fi/orpe/?page_id=10).

Pesu, P. 1996. *Raskaan liikenteen vaikutukset liikenteen sujuvuuteen*. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto. 102 s.

Ristikartano, R., Granlund, R., Räsänen, J. & Salmelin, L. 2012. *Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet*. Helsinki: Liikennevirasto. 96 s. ISBN 978-952-255-226-6. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-50\\_tiensuunnittelun\\_liikennetekniset\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf).

Roine, M. 1972. *Tutkimus kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyvystä*. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Saarenketo T., Matintupa, A., Varin, P., Kolisoja, P., Herronen, T. & Hiekkalahti, A. 2012. *Pajala road impact analysis*. 54 s. Saatavissa: [http://www.trafikverket.se/contentassets/ff1e307734044347afb4ca46d99810ef/pajala\\_road\\_impact\\_analysis\\_fi\\_nal\\_02022012.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/ff1e307734044347afb4ca46d99810ef/pajala_road_impact_analysis_fi_nal_02022012.pdf).

Sandin, J., Bálint, A., Fagerlind, H. & Kharrazi, S. 2014. *Traffic safety of heavy goods vehicles and implications for high capacity transport vehicles*. Transport Research Arena 2014, Paris. Saatavissa: [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_18476.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18476.pdf).

Skogforsk.se. 2016. *Aktiva fordon*. [Online]. Viitattu 6.4.2016. Saatavissa: <http://www.skogforsk.se/EnergiEffektivaTransporter/Aktiva-fordon/>.

Sparks, G. A., Neudorf, R. D. & Robinson, J. B. I. 1993. *Effect of vehicle length on passing operations*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 119: 2. S. 274–283. [Viitattu 10.12.2015].

Sparks, G. A., Stang, N., Sillers, S. & Burns, N. 2000. *Simulating LCV traffic operations on two-lane rural highways*. 6th international symposium on heavy vehicle weights and dimensions. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Summala, H., Karola, J., Radun, I. & Coyoumdjian, A. 2006. *Kohtaamisonnettomuudet päätieverkolla - kehitys ja syyt*. Helsinki: Tiehallinto. 76 s. ISBN 951-803-122-3. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200830-vkohtaamisonnettomuudet.pdf>.

Svensk åkeritidning. 2015. *DUO2-ekipaget rullar igen*. [Online]. Viitattu 8.2.2016. Saatavissa: <http://www.akeritidning.se/svensk-akeritidning/nyheter/2015/12/15/duo-2-ekipaget-rullar-igen>.

Tapio, J. 2003. *Ohitukset kaksikaistaisilla teillä*. Helsinki: Tiehallinto. 33 s. ISBN 951-803-130-4. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200834ohitukset.pdf>.

Tiehallinto. 2006. *Kaakkois-Suomen päätieverkon simulointi Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan alueella*. Kouvola: Tiehallinto. 92 s. ISSN 1458-1561. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000540-v-tiesimulointi\\_kas.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000540-v-tiesimulointi_kas.pdf).

Tielaitos, 1999. *Tietoa tiensuunnitelmaan nr. 46*. Helsinki: Tielaitos. Saatavissa Internetissä: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tts46.pdf>.

Tilastokeskus, 2015. *Moottoriajoneuvokanta 2014*. Helsinki: Tilastokeskus. 8 s. ISSN 1796-0479. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/mkan/2014/mkan\\_2014\\_2015-03-20\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/mkan/2014/mkan_2014_2015-03-20_fi.pdf).

Torkkeli, J. 1996. *Raskaan liikenteen vaikutukset nopeuksiin ja jononmuodostuksiin*. Päätötyö. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. 52 s.

Trafi.fi. 2016a. *HCT-rekat*. [Online]. Viitattu 6.4.2016. Saatavissa: [http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat\\_ja\\_hyvaksynnat/hct-rekat](http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat).

Trafi.fi. 2016b. *Kuljetusyrityksille myönnettyt luvat*. [Online]. Viitattu 6.4.2016. Saatavissa: [http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat\\_ja\\_hyvaksynnat/hct-rekat/kuljetusyrityksille\\_myonnetty\\_luvat](http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat/kuljetusyrityksille_myonnetty_luvat).

Transportnet.se 2014. *Jula får börja köra 31-metersfordon*. [Online]. Viitattu 7.9.2015. Saatavissa: <http://transportnet.se/nyheter/jula-far-borja-kora-31-metersfordon/#>.

TRB, Transportation Research Board. 2010. *HCM 2010 Highway Capacity Manual 2010*. Washington DC, USA: Transportation Research Board. ISBN 978-0-309-16077-3.

Troutbeck, R.J. 1981. *Overtaking behaviour on Australian two-lane rural highways*. Vermont, Australia: Australian road research board. 141 s. + liitteet. ISBN: 0-86910-043-2.

UPM.com. 2013. *UPM testasi 100 tonnia painavia ja yli 25,25 metriä pitkiä ajoneuvoyhdistelmiä*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/MEDIA/Uutiset/Pages/UPM-testasi-100-tonnia-painavia-ja-yli-25,25-metri%C3%A4-pitki%C3%A4-ajoneuvoyhdistelmi%C3%A4.aspx>.

UPM.com. 2014. *Nykyistä suurempia kuormia kuljettavien puutavara-autojen kehitystyö jatkuu*. [Online]. Viitattu 31.8.2015. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/MEDIA/Uutiset/Pages/Nykyist%C3%A4-suurempia-kuormia-kuljettavien-puutavara-autojen-kehitysty%C3%B6-jatkuu-001-Thu-14-Aug-2014-11-09.aspx>.

Volvotrucks.com. 2014. *ETT-bilen på 90 ton går i pension och blir en del av Volvo Museum*. [Online]. Viitattu 7.10.2015. Saatavissa: <http://www.volvotrucks.com/dealers-vtc/sv-se/wist-last-buss/newsmedia/pressreleases/Pages/pressreleases.aspx?pubid=18462>.



Von Hofsten, H. & Funck, J. 2015. *Utveckling av HCT-fordon i Sverige. Development of HCT vehicles in Sweden*. Arbetsrapport. Uppsala, Sweden: Skogforsk. 28 s. ISSN: 1404-305X. Saatavissa:

<http://www.skogforsk.se/contentassets/a0c58c6923b14958bf5b036a49c05eb7/utveckling-av-hct-fordon-i-sverige-hela.pdf>.

Wardrop, J. G. 1952. *Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. 1: 3. S. 325–362. [Viitattu 9.2.2016]. DOI: 10.1680/ipeds.1952.11259.

Ye, Y. & Shen, J. *High capacity transport associated with pre- and post-haulage in intermodal rail-road transport*. Master degree project. Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg. 76 s. Saatavissa:

[https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/37718/1/gupea\\_2077\\_37718\\_1.pdf](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/37718/1/gupea_2077_37718_1.pdf).